This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

https://books.google.com

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

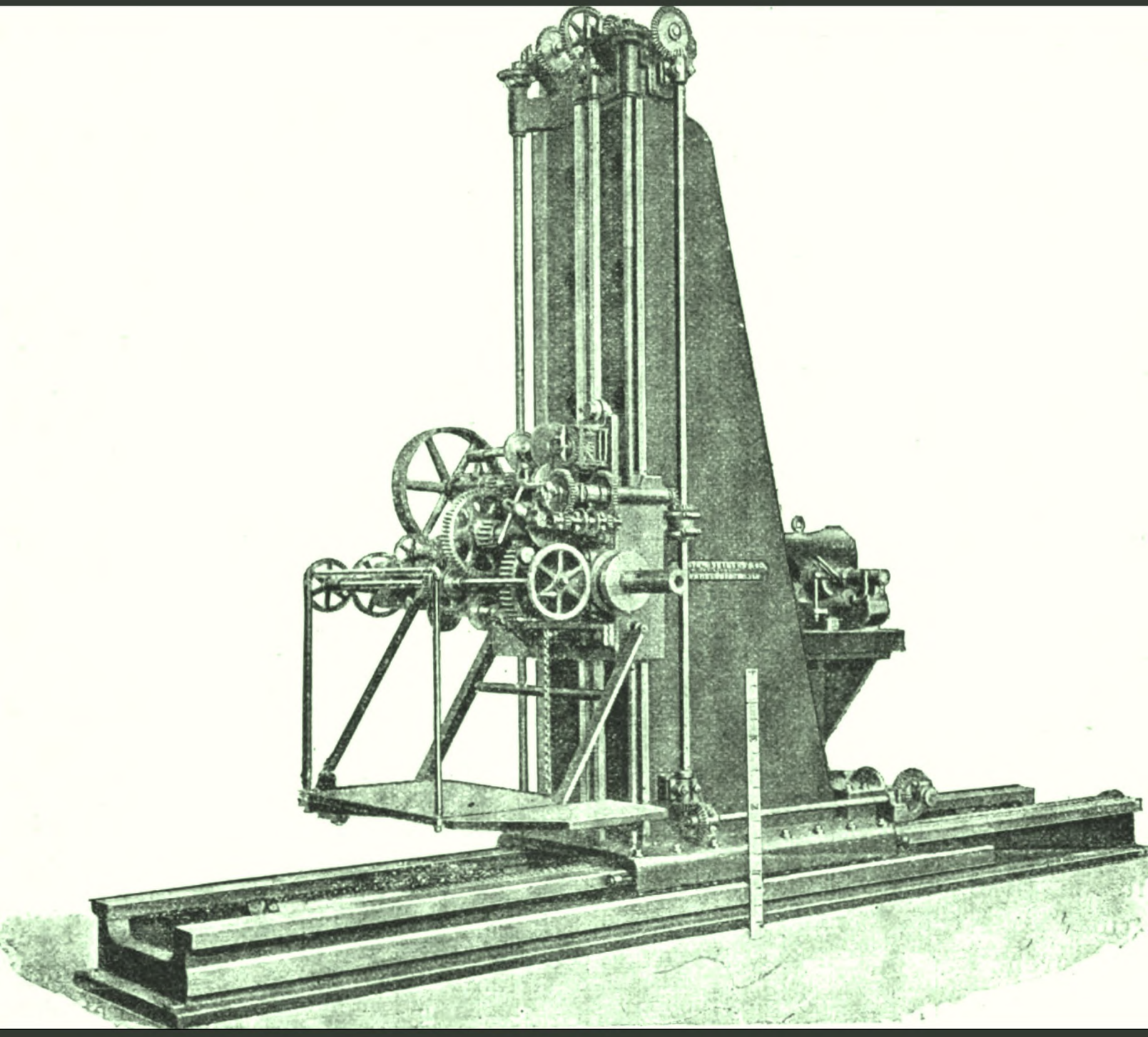
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



L'Éclairage électrique

Digitized by Google

92
02

Fine Hall
ANNEX
Hall, 1985

Library of
Princeton University.

Brackett Library

Palmer Physical Laboratory

Presented by
Stephen S. Palmer
David B. Jones
Thomas D. Jones

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

Digitized by Google

Digitized by Google

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

TOME III

2E TRIMESTRE 1895

PARIS

GEORGES CARRÉ, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3

Digitized by Google

(RECAP)

9292

602

Digitized by Google

Tome III. Samedi 6 Avril 1895. 2e Année. — N° 14.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

A PROPOS
DE LA THÉORIE DE M. LARMOR

Cet article, comme ceux qui suivront, ne peut être regardé, ni comme un exposé, ni comme une critique du travail que M. Larmor a récemment présenté à la Société royale de Londres, sous le titre suivant : *A Dynamical Theory of the electric and luminiferous medium*(1). Il contiendra simplement le résumé des réflexions que m'a suggérées la lecture de cette importante communication et qui m'entraîneront souvent bien loin de la théorie de M. Larmor. C'est ce qui justifie le titre que j'ai choisi.

§ 1. — THÉORIES OPTIQUES

Et d'abord je suis conduit, comme M. Larmor lui-même, à débuter par un résumé des diverses théories proposées par les savants qui se sont occupés d'optique. Les expériences sur l'optique physique ont mis en évidence l'importance de deux vecteurs que j'introduirai ici sans faire aucune hypothèse sur leur signification théorique. Dans les milieux isotropes, auxquels je me bornerai toujours, pour ne pas compliquer cette exposition, le premier de ces vecteurs est perpendiculaire au plan de polarisation ; j'en désignerai les composantes par X, Y, et Z et je l'appellerai *vecteur de Fresnel*. Le second vecteur est perpendiculaire au rayon lumineux et parallèle au plan de polarisation ; je l'appellerai *vecteur de Neumann* et je le désignerai par L, M et N.

Il y a entre ces deux vecteurs, dans un milieu isotrope et transparent, des relations très simples. Si l'on désigne par A l'inverse de la vitesse de la lumière dans le vide et par ε le carré de l'indice de réfraction, on aura :

$$(1)\qquad \begin{aligned} A\,\frac{dL}{dt} &= \frac{dZ}{dy} - \frac{dY}{dz} \\ A\varepsilon\,\frac{dX}{dt} &= \frac{dM}{dz} - \frac{dN}{dy} \end{aligned}$$

et quatre autres équations analogues que l'on déduirait des premières en permutant circulairement, les lettres x, y et z ; X, Y et Z ; L, M et N, c'est à dire que la dérivée par rapport au temps de chacun des vecteurs est proportionnelle au « *curl* » de l'autre vecteur pour employer l'expression anglaise.

Il est aisé de voir que les équations (1) résument, pour ainsi dire, les principaux faits expérimentaux relatifs à l'optique et cela indépendamment de toute théorie.

C'est dans l'interprétation théorique que les divergences commencent. Pour Fresnel, la vitesse d'une molécule d'éther est représentée en grandeur, direction et sens, par le vecteur X, Y, Z ; pour Mac-Cullagh et Neumann, elle

(1) LARMOR. — *Proceedings of Royal Society* t. LIV, p. 438 (7 déc. 1893) ; *La Lum. Elect.* t. LII, p. 351.

241897

Digitized by Google

est représentée par le vecteur L, M, N. En d'autres termes, pour Fresnel, la vibration est perpendiculaire au plan de polarisation, pour Neumann, elle est parallèle à ce plan.

Dans toutes les théories mécaniques de la lumière, les vibrations de l'éther sont attribuées à son élasticité ; mais on peut faire sur cette élasticité plusieurs hypothèses ; la plus simple est de la supposer analogue à celle des solides qui tendent à reprendre leur forme primitive, quand une force extérieure les en a écartés. Pour forcer les molécules d'éther à s'éloigner de leur situation d'équilibre, il faut donc dépenser un certain travail qui s'emmagasine dans le fluide et qu'il restitue, quand rendu à lui-même, il revient à l'équilibre. C'est ainsi qu'un ressort bandé est un réservoir d'énergie. Le travail ainsi emmagasiné est ce qu'on appelle l'énergie potentielle d'élasticité de l'éther.

Dans l'hypothèse de Fresnel, la force vive de l'éther a pour expression :

$$(2) \qquad \frac{1}{8\pi}\int \varepsilon\left(X^2 + Y^2 + Z^2\right) d\tau,$$

et son énergie potentielle :

$$(3) \qquad \frac{1}{8\pi}\int \left(L^2 + M^2 + N^2\right) d\tau.$$

Les intégrations sont étendues à tous les éléments de volume $d\tau$ de l'espace. Cela revient à dire que la densité de l'éther est proportionnelle à ε ; la masse de l'élément $d\tau$ est alors proportionnelle à $\varepsilon\, d\tau$; comme la vitesse, dans l'hypothèse de Fresnel, est représentée par le vecteur X, Y, Z, la force vive de l'élément $d\tau$ est proportionnelle à

$$\varepsilon d\tau\left(X^2 + Y^2 + Z^2\right).$$

D'autre part, tout se passera comme si l'énergie potentielle localisée dans un élément $d\tau$ très petit, était proportionnelle au volume de cet élément multiplié par le carré du vecteur de Neumann.

Dans l'hypothèse de Neumann au contraire, c'est l'expression (2) qui représentera l'énergie potentielle et l'expression (3) qui représentera la force vive.

Le carré de la vitesse est, dans cette hypothèse, $L^2 + M^2 + N^2$; l'expression de la force vive montre que la densité de l'éther est supposée constante.

Quant à l'énergie potentielle localisée dans un élément très petit de l'espace, elle est proportionnelle au carré du vecteur de Fresnel multiplié par le facteur ε qui représente alors l'élasticité de l'éther.

Dans l'hypothèse de Neumann, l'élasticité est donc variable et la densité constante ; c'est l'inverse dans la théorie de Fresnel.

Cette variabilité de l'élasticité donne lieu à une difficulté qui est spéciale à la théorie de Neumann et de Mac-Cullagh. La pression de l'éther dans l'état d'équilibre ne peut être nulle, ce que l'autre hypothèse aurait permis de supposer. Elle ne peut non plus être constante, elle doit dépendre de ε, et, par conséquent, elle n'est pas la même dans deux milieux différents. Pour que l'équilibre se maintienne malgré cette différence de pression, il faut admettre qu'à la surface de séparation de deux milieux, l'éther est soumis à une force particulière qui rappellerait dans une certaine mesure la capillarité des liquides. C'est ce qu'on appelle la « force de Kirchhoff. »

On peut échapper à cette hypothèse supplémentaire, qui n'est d'ailleurs pas très gênante, en adoptant les idées de lord Kelvin sur l'élasticité.

L'axe d'une toupie en rotation tend à rester dans la position verticale ; si on l'en écarte, il décrira un petit cône autour de la verticale, comme le fait le fil d'un pendule conique sous l'influence de la pesanteur qui tend à le ramener à sa position d'équilibre. Pour un observateur qui ignorerait son mouvement de rotation, la toupie semblerait obéir à une sorte de force élastique. On peut imaginer des appareils plus compliqués qui reproduisent plus exactement encore les propriétés des corps élastiques et c'est ce qu'a fait lord Kelvin. Supposons des systèmes articulés dont certaines pièces, jouant le rôle de gyrostats, sont animées d'une rota-

Digitized by Google

tion rapide. Dans ces systèmes, aucune force n'est en jeu ; et pourtant il se comporteront comme s'ils étaient doués d'élasticité. En apparence, on peut y emmagasiner de l'énergie potentielle ; mais ils ne possèdent, en réalité, que de l'énergie cinétique.

On peut donc se demander si l'éther n'est pas constitué de la sorte ; si un observateur, disposant de moyens assez puissants pour pénétrer toutes les délicatesses de sa structure intime, ne découvrirait pas que toute son énergie est due à la force vive des tourbillons infinitésimaux qui y sont renfermés. Son élasticité, que la théorie ordinaire explique par des attractions à distances s'exerçant entre les molécules, serait due alors à de simples forces apparentes d'inertie, analogues dans une certaine mesure à la force centrifuge.

Il y a toutefois une différence entre l'élasticité ordinaire, celle des solides, et « l'élasticité rotationnelle » de lord Kelvin. Quand on déforme un solide, son élasticité est mise en jeu ; mais elle ne l'est plus quand on le fait tourner en changeant son orientation dans l'espace, mais sans changer sa forme. Il n'en est pas ainsi des systèmes articulés de lord Kelvin.

On ne peut changer leur orientation sans avoir à vaincre une sorte de résistance élastique.

On peut donc, avec cette nouvelle manière de voir, supposer que les diverses parties de l'éther tendent à conserver leur orientation, qu'on ne peut les en écarter sans dépenser du travail, et qu'elles y reviennent quand la force extérieure cesse d'agir.

On peut greffer l'hypothèse de lord Kelvin, soit sur la théorie de Fresnel, soit sur celle de Neumann. Dans l'un et l'autre cas, l'énergie totale est représentée par la somme des expressions 2 et 3 et elle est tout entière cinétique.

Seulement, dans l'hypothèse de Fresnel, l'expression 2 représente la force vive des vibrations de l'éther qui sont relativement des mouvements d'ensemble ; l'expression 3 représente la force vive de mouvements tourbillonnaires beaucoup plus intimes encore (ou plutôt la partie variable de cette force vive).

Dans l'hypothèse de Neumann, c'est l'inverse ; on n'a plus d'ailleurs à supposer l'existence de la force de Kirchhoff.

Dans l'un et l'autre cas on peut appeler énergie potentielle apparente, la partie de l'énergie totale qui est due aux mouvements tourbillonnaires intimes.

On peut s'étonner qu'en partant de deux points de départ aussi différents, on arrive à la même expression de l'énergie. Dans la théorie ordinaire, une rotation sans déformation n'entraîne pas de résistance élastique, tandis que, dans la théorie de lord Kelvin elle en fait naître. Comment l'énergie totale a-t-elle même valeur dans les deux cas? c'est ce qu'au premier abord on a quelque difficulté à s'expliquer.

On s'en rend compte en remarquant que l'éther est un milieu indéfini ; une perturbation ne peut atteindre qu'une partie finie de ce milieu, les parties les plus éloignées restant en repos. Il est aisé de se rendre compte que dans un pareil milieu une partie ne peut tourner sans se déformer, sans que d'autres parties subissent une déformation. Si l'on supposait par exemple un cylindre tournant autour de son axe tout d'une pièce pendant que le reste de l'éther demeure en repos, il y aurait là une discontinuité que l'on ne saurait admettre ; il faut supposer entre le cylindre qui tourne avec une vitesse angulaire uniforme et l'éther extérieur en repos, une couche de passage, qui pourra d'ailleurs être aussi mince qu'on le voudra, et où la vitesse ira en décroissant d'une manière continue quand on ira vers l'extérieur. Cette couche de passage serait dans tous les cas, le siège de déformations.

§ 2. — THÉORIES ÉLECTRIQUES

Les équations que résument les lois observées des phénomènes électriques présentent une remarquable analogie avec celles de l'optique ; Maxwell a le premier remarqué cette analogie et ce sera son éternel titre de gloire ;

Digitized by Google

mais l'analogie est peut-être plus frappante encore quand on adopte les notations de Hertz (*Wiedemann's Annalen*, t. LX, p. 577).

Désignons donc avec Hertz par X, Y, Z, les composantes de la force électrique, par L, M, N, celles de la force magnétique, par ε le pouvoir inducteur électrostatique du milieu.

Dans un milieu non magnétique et diélectrique, ces quantités seront liées par des équations identiques aux équations (1), le coefficient A ayant même valeur numérique dans les équations électriques optiques.

Dans un milieu magnétique et conducteur, les équations sont un peu plus compliquées et il faut y introduire deux autres paramètres ; à savoir le coefficient de perméabilité magnétique μ et le coefficient de conductibilité λ. Les équations prennent alors la forme suivante (voir Hertz, *loco cit.*)

$$(4)\qquad \begin{aligned} A\mu \frac{dL}{dt} &= \frac{dZ}{dy} - \frac{dY}{dz}, \\ A\varepsilon \frac{dX}{dt} &= \frac{dM}{dz} - \frac{dN}{dy} - 4\pi A\lambda X. \end{aligned}$$

Les équations (4) contiennent les équations (1) comme cas particuliers, et on obtient ces dernières en faisant :

$$\mu = 1, \qquad \lambda = 0.$$

Il nous sera permis, dans ce qui va suivre de supposer $\mu = 1$. Nous pouvons, en effet, adopter l'hypothèse d'Ampère. Alors les milieux qui nous semblent magnétiques devraient, pour un observateur dont les sens seraient assez subtils, apparaître comme dénué de magnétisme, mais comme parcouru par un très grand nombre de courants particulaires.

L'identité de la lumière et de l'électricité semble hors de doute d'après ces considérations que des expériences récentes ont confirmées et on y a d'abord cherché une explication nouvelle des phénomènes optiques destinée à faire oublier les anciennes explications mécaniques.

Puis on a cherché une explication mécanique commune de la lumière et de l'électricité, et alors l'idée la plus naturelle était de revenir aux théories élastiques dont j'ai parlé plus haut et qui avaient si longtemps paru tout à fait satisfaisantes. Puisqu'elles rendaient compte de la lumière, il s'agissait de les adapter à l'explication de l'électricité.

L'adaptation aurait été immédiate, si les équations de l'électricité n'étaient, comme nous venons de le voir, plus générales que celles de l'optique. Malheureusement les équations (1) ne sont que des cas particuliers des équations (4).

Cette circonstance ne doit pas toutefois nous décourager ; prenons une quelconque des théories optiques, celle de Fresnel par exemple ; dans cette théorie, la vitesse de l'éther est représentée par le vecteur X, Y, Z ; supposons par conséquent que la vitesse de l'éther soit représentée par la force électrique. Reprenons les équations (4) et interprétons-les en conséquence ; elles exprimeront certaines propriétés de l'éther ; ce seront les propriétés qu'il faudra attribuer à ce fluide, si l'on veut conserver la théorie de Fresnel.

Au lieu d'appliquer ce procédé d'adaptation à la théorie de Fresnel, on peut l'appliquer à Neumann et Mac-Cullagh, et c'est ce qu'a fait M. Larmor.

Dans l'un et l'autre cas, on est conduit à attribuer à l'éther des propriétés assez étranges et faites pour nous surprendre au premier abord. Il convient en tout cas d'insister sur ces étrangetés, soit qu'on veuille familiariser les esprits avec elles, soit qu'on les regarde comme des obstacles insurmontables qui ne permettent pas d'adopter ces explications.

§ 3. — ADAPTATION DE LA THÉORIE DE FRESNEL

La théorie électromagnétique de la lumière, aujourd'hui confirmée par l'expérience, nous apprend que ce qu'on appelle en optique le vecteur de Fresnel n'est autre chose que la force électrique, et que le vecteur de Neumann est identique avec la force magnétique. Si donc nous voulons conserver la théorie de Fresnel, il faut que nous admettions que la vitesse de l'éther est représentée en gran-

Digitized by Google

deur, direction et sens par la force électrique.

Mais cette hypothèse entraîne des conséquences singulières.

Considérons une petite sphère électrisée ; la force électrique est partout dirigée suivant le rayon vecteur qui va au centre de la sphère ; telle devrait donc être aussi la direction de la vitesse de l'éther.

Il en résulterait qu'une sphère électrisée positivement, par exemple, absorberait constamment de l'éther et qu'une sphère électrisée négativement en émettrait constamment.

Et cette absorption ou cette émission devrait durer tant que la sphère conserverait sa charge.

En d'autres termes, les parties de l'espace où nous disons qu'il y a de l'électricité positive ou négative seraient celles où la densité de l'éther va constamment en augmentant, ou constamment en diminuant.

Cela semble bien difficile à admettre ; comment la densité de l'éther pourrait-elle varier si longtemps toujours dans le même sens, sans que les propriétés de cet éther en paraissent modifiées. Faudra-t-il donc supposer que la densité de cet éther est très grande et sa vitesse dans un champ électrique très petite, de sorte que, malgré la durée de l'électrisation, les variations relatives de la densité soient peu sensibles ?

Poursuivons néanmoins notre examen. Voyons si cette compressibilité indéfinie de l'éther n'est pas, sinon plus intelligible, au moins plus conforme aux hypothèses habituelles qu'il ne semble au premier abord.

Un gaz ne transmet pas les vibrations transversales ; cela tient à ce qu'un glissement intérieur entre les couches gazeuses ne provoque pas de résistance élastique ; si même le gaz était dépourvu de viscosité, un mouvement de glissement, une fois commencé se poursuivrait indéfiniment.

De même l'éther ne transmet pas les vibrations longitudinales ; et cela peut s'expliquer de deux manières ; on peut supposer qu'il est absolument incompressible. On peut encore imaginer, et c'est là l'hypothèse que Fresnel est obligé de faire pour expliquer la réflexion, qu'il est au contraire incapable de résister à la compression.

La compression dans l'éther, de même que le glissement dans les gaz, ne doit donc pas provoquer de résistance élastique ; et alors quand une particule d'éther a commencé à se contracter ou à se dilater, cette contraction ou cette dilatation se poursuivra indéfiniment.

Les hypothèses anciennement admises entraînaient donc déjà cette conséquence que nous jugeons invraisemblable ; on les acceptait pourtant parce qu'on croyait qu'elles n'étaient qu'approchées ; pour adapter la théorie de Fresnel aux phénomènes électriques, il faut au contraire les supposer très prés d'être rigoureusement réalisées, et c'est de là que vient la difficulté.

Je ne chercherai pas à la lever ; mais je ne puis passer sous silence l'analogie entre les considérations qui précèdent et les sphères pulsantes de Bjerknes. Pendant que l'une de ces sphères se contracte, le mouvement dans le liquide environnant est tout à fait pareil à celui que la théorie précédente attribue à l'éther dans le voisinage d'une charge électrique positive. Quand cette sphère se dilate, elle est au contraire assimilable à une masse électrique négative.

On sait que la représentation des phénomènes électrostatiques par les sphères de Bjerknes n'est qu'imparfaite et cela pour deux raisons. La première sur laquelle on a surtout insisté, c'est que le signe des phénomènes est changé.

La seconde n'est pas moins importante. Bjerknes fait agir l'une sur l'autre deux sphères dont les pulsations ont même période ; de plus, les pulsations ont toujours même phase, ou bien phase opposée, de telle façon que la différence de phase est toujours égale à o ou à π.

En se restreignant ainsi, il représente les phénomènes électriques au signe près ; il serait arrivé sans cela à des lois beaucoup plus compliquées ; supposons, par exemple, trois sphères pulsantes A, B et C ayant même période, mais ayant respectivement pour

Digitized by Google

phase o, $\frac{\pi}{2}$ et π; A n'agirait pas sur B, ni B sur C; mais A agirait sur C. On n'a plus du tout la reproduction des lois de l'électrostatique.

Or, si l'on admet que l'électricité est due à de semblables oscillations, on pourra supposer à la rigueur que ces oscillations aient toujours même période; mais il n'y a aucune raison pour que la différence de phase soit toujours o ou π.

Bjerknes était bien forcé de donner à ses sphères un mouvement alternatif, mais l'éther indéfiniment compressible de la théorie de Fresnel adaptée, nous donne l'image de sphères pulsantes dont la contraction ou la dilatation durerait indéfiniment et pour ainsi dire de sphères pulsantes de période infinie.

Les attractions électrostatiques seraient donc immédiatement expliquées, s'il ne restait la difficulté du changement de signe. Elle n'est pas insurmontable, nous y reviendrons.

Voici maintenant la signification des équations (4); adoptant l'hypothèse d'Ampère, je suppose $\mu = 1$. D'où provient le terme en λ qui s'introduit dans les milieux conducteurs? L'interprétation en est aisée; dans les conducteurs qui sont le siège d'un courant voltaïque, il y a réellement un courant continu d'éther; il y en a un aussi à travers les diélectriques dans un champ électrique ainsi que je l'ai dit plus haut; mais tandis que l'éther pourrait se déplacer à travers les diélectriques sans subir aucun frottement, il frotterait sur la matière des conducteurs, et ce serait la force vive détruite par ce frottement qui se transformerait en chaleur et qui échaufferait le circuit voltaïque.

Parmi les mouvements dont l'éther peut être le siège, il y en a qui ne provoquent aucune résistance élastique; ce sont des mouvements de cette sorte qui se produisent dans le voisinage d'un circuit parcouru par un courant voltaïque permanent. Mais on ne peut directement passer du repos à un semblable mouvement ou inversement; il y a nécessairement une phase transitoire où d'autres mouvements se produisent, qui eux sont transversaux et doivent mettre en jeu l'élasticité de l'éther. Ce serait cette réaction élastique qui produirait les phénomènes d'induction.

Nous reviendrons plus loin en détail sur tous ces points.

§ 4. — THÉORIE DE LARMOR

La théorie de M. Larmor n'est autre chose que l'adaptation de la théorie de Neumann. La vitesse de l'éther est alors représentée en grandeur, direction et sens par le vecteur de Neumann, c'est-à-dire par la force magnétique.

Comme nous supposons $\mu = 1$, on a partout

$$\frac{dL}{dx} + \frac{dM}{dy} + \frac{dN}{dz} = 0$$

et l'éther apparaît comme incompressible.

Si l'on considère un fil rectiligne parcouru par un courant voltaïque; dans le voisinage de ce fil, l'éther est en rotation; chaque molécule décrivant une circonférence qui a pour axe l'axe même du fil; la vitesse angulaire de rotation est en raison inverse du carré du rayon de cette circonférence.

Les phénomènes d'induction électromagnétique sont dus simplement à l'inertie de l'éther.

L'éther est doué de l'élasticité rotationnelle telle que la comprend lord Kelvin; on ne peut donc écarter une particule d'éther de son orientation primitive sans avoir à dépenser du travail. Mais cette résistance n'est pas toujours de même nature.

Dans les diélectriques, c'est une résistance élastique, et une particule d'éther, écartée de son orientation primitive, y revient dès qu'on l'abandonne à elle-même; dans les conducteurs, c'est une résistance analogue à la viscosité des liquides, cette particule ne tend pas à revenir d'elle-même à son orientation primitive, et tout le travail dépensé pour l'en écarter a été transformé en chaleur.

Les choses malheureusement ne sont pas aussi simples que cela, et il y a une difficulté

Digitized by Google

qui mérite quelque attention. Le couple, qui dans cette théorie, tend à ramener une particule d'éther à son orientation, est représenté en grandeur, direction et sens, par le vecteur de Fresnel, c'est-à-dire par la force électrique X, Y, Z.

Si l'élasticité rotationnelle de lord Kelvin demeurait inaltérée, au moins dans les diélectriques, on devrait avoir à un facteur constant près :

$$A\varepsilon X = \frac{d\eta}{dz} - \frac{d\zeta}{dy}, \quad A\varepsilon Y = \frac{d\zeta}{dx} - \frac{d\xi}{dz}, \quad A\varepsilon Z = \frac{d\xi}{dy} - \frac{d\eta}{dx},$$

ξ, η, ζ désignant les composantes du déplacement d'une molécule d'éther à partir de sa position primitive.

Il en résulterait que le flux de force électrique qui traverse une surface fermée quelconque dans le diélectrique devrait être nul; en d'autres termes, la charge totale d'un conducteur isolé devrait être nulle.

Il est donc nécessaire d'introduire dans la théorie une modification profonde, et cette nécessité n'a pas échappé à M. Larmor qui s'explique sur ce point en quelques lignes (*Proceedings*, 7 décembre 1893, p. 447, lignes 7 à 24).

Pour voir quelle est la modification convenable, il n'y a qu'une chose à faire; reprenons les équations (4), interprétons-les dans le langage de la théorie de Larmor et voyons ce qu'elles signifient.

Posons :

$$A\varepsilon X' = \frac{d\eta}{dz} - \frac{d\zeta}{dy},$$

la seconde équation (4) deviendra :

$$(5) \qquad A\varepsilon \frac{d(X - X')}{dt} = -4\pi A\lambda X.$$

Si λ était constamment nul, on aurait $X = X'$, c'est-à-dire que le couple développé par l'élasticité de l'éther tendrait à ramener chaque particule d'éther à son orientation primitive.

Supposons maintenant que λ soit variable; d'abord nul, ce coefficient prendrait une valeur positive pendant quelque temps, puis redevien-drait nul. C'est à peu près ce qui arrive dans le cas d'une décharge disruptive; l'air d'abord isolant, cesse de l'être pendant quelques instants au moment de la décharge et perd ensuite de nouveau ses propriétés conductrices.

Quelle est alors la signification de l'équation (5)? On aura :

$$X - X' = -\frac{4\pi}{\varepsilon} \int \lambda X \, dt$$

l'intégrale $\int \lambda X \, dt$ devant être étendue à toute la durée de la décharge, et étant par conséquent proportionnelle à la quantité d'électricité qui a passé pendant cette décharge; je puis donc écrire :

$$X - X' = ks$$

k étant un coefficient constant et s étant cette quantité d'électricité.

Après la décharge, le couple élastique ne tend plus à ramener la particule d'éther à son orientation primitive, c'est-à-dire à une orientation telle que $X' = 0$, mais à une orientation telle que $X = ks$.

Pendant la décharge, le diélectrique perd son élasticité rotationnelle; après la décharge, il la recouvre, *mais profondément modifiée par le passage de l'électricité.*

L'élasticité des solides nous offre des phénomènes tout semblables. Une barre d'acier soumise à une traction s'allonge, mais pour revenir à sa longueur primitive, dès que la traction cesse. Si on la chauffe au rouge, elle perd son élasticité et devient ductile; sous la traction, après s'être allongée, elle conservera la longueur qu'elle aura ainsi acquise, même quand cette traction aura cessé. Si ensuite on la refroidit, elle recouvrera son élasticité, mais cette élasticité sera modifiée, car elle ne tendra pas à ramener à la barre à la longueur qu'elle possédait avant toutes ces opérations, mais à la longueur qu'elle avait au moment où l'élasticité a été recouvrée.

Que se passe-t-il alors dans l'éther qui entoure un corps électrisé? Chaque particule est soumise à un couple élastique qui tend à la ramener à une orientation donnée, différente

Digitized by Google

(au moins pour celles qui ont été traversées par de l'électricité pendant la charge) de celle qu'elle possédait avant l'électrisation. Les particules étant solidaires les unes des autres, les orientations qu'elles tendent à prendre sont en général incompatibles. Il se produit alors un équilibre où chacune de ces particules est comparable à un petit ressort tendu. Le travail des forces électrostatiques n'est autre chose que l'énergie emmagasinée dans ces petits ressorts.

Cette explication ne me satisfait pas encore complètement, parce que nous n'avons envisagé que la décharge disruptive, et que nous avons laissé de côté le cas où, pour modifier les charges de deux conducteurs, on les met en communication à l'aide d'un fil métallique. pour les isoler ensuite de nouveau en écartant le fil.

Mais là on a affaire à des corps en mouvement, et la difficulté est plus grande. Au lieu des équations (4) qui sont celles de Hertz (Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper, *Wiedemann's*, *Ann.*, 40, p. 577) (1), il faut considérer les équations beaucoup plus compliquées du second mémoire de Hertz sur les corps en mouvement (Grundgleichungen der Elektrodynamik für bewegte Körper. *Wied. Ann.*, 41)[2]. J'étudierai ces équations dans un prochain article et je chercherai quelle est leur signification quand on les interprète soit dans le langage de la théorie de Fresnel adaptée, soit dans le langage de la théorie de Larmor.

J'aurai ainsi, du même coup, l'explication dans l'une et l'autre théorie, des phénomènes mécaniques dont un champ électromagnétique est le siège, c'est-à-dire des attractions électrostatiques et des actions mutuelles des courants.

Pour achever de tracer le programme des questions que je veux traiter dans les articles qui suivront, j'attirerai encore l'attention sur deux autres difficultés que nous aurons à examiner en détail. Généralement dans les recherches sur l'élasticité, on admet que les déformations des corps élastiques sont très petites ; ici une semblable hypothèse n'est plus permise ; dans un champ magnétique constant, la vitesse de l'éther est également constante d'après l'hypothèse de Larmor, et toujours dans le même sens. Au bout d'un certain temps, les molécules d'éther doivent avoir éprouvé des déplacements sensibles, et cela même en supposant cette vitesse constante très petite ; car dans les corps magnétiques, il faut supposer l'existence de courants particulaires permanents qui doivent durer depuis l'origine du monde, bien qu'ils ne se manifestent que quand le corps est « magnétisé », c'est-à-dire quand tous ces petits courants sont ramenés par une cause extérieure à une orientation commune. Quelque petite que soit la vitesse de l'éther, un mouvement qui se produit toujours dans le même sens depuis l'origine du monde, a nécessairement produit des déplacements considérables.

En second lieu, dans un champ magnétique, l'éther est supposé en mouvement et il devrait entraîner les ondes lumineuses.

M. Larmor dit à ce sujet à la fin de son travail :

« Le professeur O. Lodge a bien voulu examiner l'effet d'un champ magnétique sur la vitesse de la lumière ; mais n'a pu en déceler aucun, bien que les moyens qu'il employait fussent extrêmement délicats ; il en résulterait, dans notre théorie, que le mouvement dans un champ magnétique est très lent, et par conséquent la densité du milieu très grande. »

Ainsi ce mouvement était si lent que les expériences de M. Lodge, quoique très précises, ne l'étaient pas encore assez pour le mettre en évidence. Pour dire toute ma pensée, j'estime que, ces expériences eussent-elles été cent ou mille fois plus précises, le résultat aurait encore été négatif.

Je n'ai à donner à l'appui de cette opinion que des raisons de sentiment ; si le résultat avait été positif, on aurait pu mesurer la densité de l'éther et, si le lecteur veut bien me

(1) *La Lumière électrique*, t. XXXVII, p. 137, 188, 239.
(2) *Idem.*, t. XXXVIII, p. 488 et 542.

Digitized by Google

pardonner la vulgarité de cette expression, il me répugne de penser que l'éther soit si arrivé que cela.

. (*A suivre.*)

H. POINCARÉ,
de l'Institut,
Professeur de physique mathématique
à la Sorbonne.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ [1]

Parmi les applications mécaniques, en fait innombrables, de l'électricité, l'une des plus importantes est assurément la *commande des machines-outils*, et, plus généralement, la commande des ateliers quelconques : ateliers de construction, chantiers de navires, filatures, imprimeries, etc., partout, en un mot, où il s'agit d'animer un grand nombre d'outils ou de mécanismes dont le travail total varie dans des proportions considérables d'un moment à l'autre, ainsi que leur travail individuel.

On connaît la solution habituelle de ce problème : un seul moteur à vapeur commande tout un ensemble de machines au moyen de transmissions par arbres et courrois, tournant toujours à la même vitesse, avec à très peu près la même résistance propre, quel que soit le nombre des machines qu'elles entraînent ou leur rendement effectif. La vitesse du moteur ne changeant pas, sa détente s'adapte aux variations du travail ; c'est vrai, mais la chaudière, et par conséquent le foyer et la dépense de combustible, est loin de suivre ces variations avec une sensibilité suffisante, de sorte, qu'en somme, dans bien des cas, dans les ateliers de construction surtout, ou de machines-outils proprement dites, c'est véritablement un procédé barbare, une perte désastreuse que ces transmissions absorbant d'une part environ 50 p. 100, et parfois jusqu'à 70 p. 100 de la puissance totale du moteur, sans compter, ce qui n'a jamais été estimé, la perte résultant du défaut de concordance forcé entre l'allure du foyer de la chaudière et la régularisation immédiate du moteur [2].

La question de la commande des machines-outils par des moteurs électriques est depuis longtemps — depuis 1889 au moins (Exposition Ducommun) — à l'ordre du jour en Europe, et a été en France, en Allemagne, en Angleterre, en Belgique, l'objet de nombreuses applications, trop connues de nos lecteurs pour y revenir ici. Je m'attacherai donc principalement à signaler quelques installations américaines, récentes et encore peu connues chez nous.

On a essayé d'évaluer, dans un grand nombre d'ateliers des Etats-Unis, le travail constamment absorbé par les transmissions en fonction du travail des machines-outils menées par elles ou du travail réellement utile, et l'on est arrivé, comme le montre le tableau suivant, à des résultats véritablement désastreux [3].

		PUISSANCE EN CHEVAUX		
		Totale	Absorbée par les transmissions	Tant p. 100 absorbé par les transmissions
J. A. Fay and C°	Machines à bois	100	15	15
Union Iron Works	Machines de mines	400	95	23
Frontier Iron and Brass Works	Machines marines, etc.	25	8	32
Baldwin locomotive Works	Ateliers de construction	**2500**	**2000**	**80**
W. Sellers and C°	Atelier de construction	409	102	40
Pond machine C°	Id.	180	75	41
Yale and Town C°	Grues, etc.	135	67	49
Ferracut machine C°	Presses étampeuses, etc.	35	»	31
Bridgeport Forge C°	Machines à forger	150	75	50
Hartford machine Scren C°	Fabrication mécanique de vis	400	100	25

(1) *L'Eclairage électrique*, 5 janvier 1895, p. 3.
(2) Cette concordance existe avec les moteurs à gaz.
(3) *Engineering Magazine*, janvier, 1895, et J. FLATHER, *Dynamometers and Measurement of Powers.*

Digitized by Google

On voit que la puissance absorbée par les transmissions varie de 15 à 80 p. 100 de la puissance totale effective du moteur, avec une moyenne d'environ 40 p. 100 : fait qui s'explique non seulement par les variations extrêmes de la puissance utilisable à chaque instant, mais aussi par ce fait que le moteur est très rarement placé dans la meilleure position possible pour commander ses transmissions, c'est-à-dire au centre dynamique de l'atelier. Souvent, au contraire, l'addition de quelque machine ou groupe d'outils à l'extrémité de la transmission, seul point où l'on dispose d'un peu de place, force à augmenter les dimensions et, par suite, les résistances de cette transmission hors de toute proportion avec ce travail additionnel.

L'une des installations électriques des plus remarquables aux Etats-Unis est celle qui a été faite par M. E. V. Clemens dans les ateliers de montage de la compagnie La Vergne — fabrication de machine à glace — à New-York. Les transmissions ont été supprimées et les grosses machines-outils actionnées le plus directement possible chacune par sa dynamo. Les machines-outils ainsi commandées sont les suivantes :

	Puissance absorbée
Une raboteuse de $3^m \times 3^m \times 0^m,90$.	15 chev.
Un alésoir de $4^m,50$.	10 —
2 étaux limeurs de 450^{mm}	10 —
Un alésoir Cortif de.	10 —
Une meule	3 —
Deux grandes grues.	20 —
Une petite grue	5 —
Un tour.	2 —

Soit en tout, quand toutes les machines fonctionnent en plein, une puissance locale de 75 chevaux.

Tous ces dynamoteurs sont du type Crooker à 1.100 tours. Les grands ponts roulants sont du type *Morgan*, à 3 moteurs (1), 15,70 m. de portée, hauteur 7,50 m., charge 15 tonnes. En marche courante, il suffit d'une génératrice de 40 chevaux Thomson Houston, un peu surmenée quand on fait marcher en même temps les grues et la raboteuse. D'une série de relevés faits pendant toute une semaine, il résulte, qu'en moyenne, la machine à vapeur, qui est beaucoup trop forte : 100 chevaux en vue des extensions prochaines, développa environ 24 chevaux indiqués, dont 14 dépensés sur la génératrice, et 9,70 développés par les réceptrices. On aurait évidemment obtenu un rendement bien meilleur en remplaçant la machine de 100 chevaux par un moteur de 15 à 20 chevaux avec accumulateurs.

L'on est depuis longtemps familiarisé avec l'électricité dans les grands chantiers et ateliers de constructions de navires de M. Cramp à Philadelphie, éclairé par plus de 3.000 lampes à incandescence et 130 arcs. Voici quelques détails, sur les machines électriques de cet atelier.

Dans la chaudronnerie : deux grues de 50 tonnes et une de 10.

Une machine Sellers, pour percer et tarauder les fonds des chaudières. Diamètre de la barre 100 mm. ; levée 2,45, course horizontale du bâtis 425 mm., course du foret 750 mm., commandée (fig. 1) par une dynamo à l'arrière du bâtis, qui donne un jeu de 30 vitesses différentes à l'allée et 30 au retour. L'ouvrier, porté par la plate-forme même du bâtis, commande avec la plus grande facilité tous les mouvements sans avoir à se déplacer. Le moteur est du type W. Leonard, à régularisation très exacte.

Dans la fonderie, toutes les grues, dont une de 50 tonnes, marchent par l'électricité, ainsi que différents outils tels que les mélangeurs de sable, broyeurs, etc.

On peut encore citer un cabestan électrique Billberg Williamson de 30 chevaux ; de nombreuses perceuses portatives à arbre flexible pour le travail sur carène, et jusqu'aux raboteuses de parquet pour les ponts de navire (1).

Je citerai encore, dans le même ordre d'idées les ateliers de Fraser et Chalmers, constructeurs de matériel de mines, qui, lors de l'Exposition de Chicago, employaient dans leur

(1) *La Lumière électrique*, 3 mars 1894, p. 406.

(1) *La Lumière électrique*, 5 avril 1892, p. 216.

Digitized by Google

fonderie : un dynamoteur de 65 chevaux commandant 10 ventilateurs Root, un de 20, pour un élévateur de 2 tonnes, deux de 10, un de 7 1/2, cinq de 5 chevaux, deux de 3 chevaux, et trois d'un cheval : en tout 146 ch. 1/2, et, dans leur menuiserie pour modèles, un dynamoteur de 25 chevaux, un de 20, un de 15 : en tout 60 ch. ; puis, dans leur chaudronnerie, six moteurs de 10 chevaux et sept de 5 : soit 95 ch. ce qui forme un ensemble de 201 ch. 1/2, groupés sur trois circuits, dont la perte ne dépasse pas, paraît-il, 5 à 6 p. 100. Ces moteurs

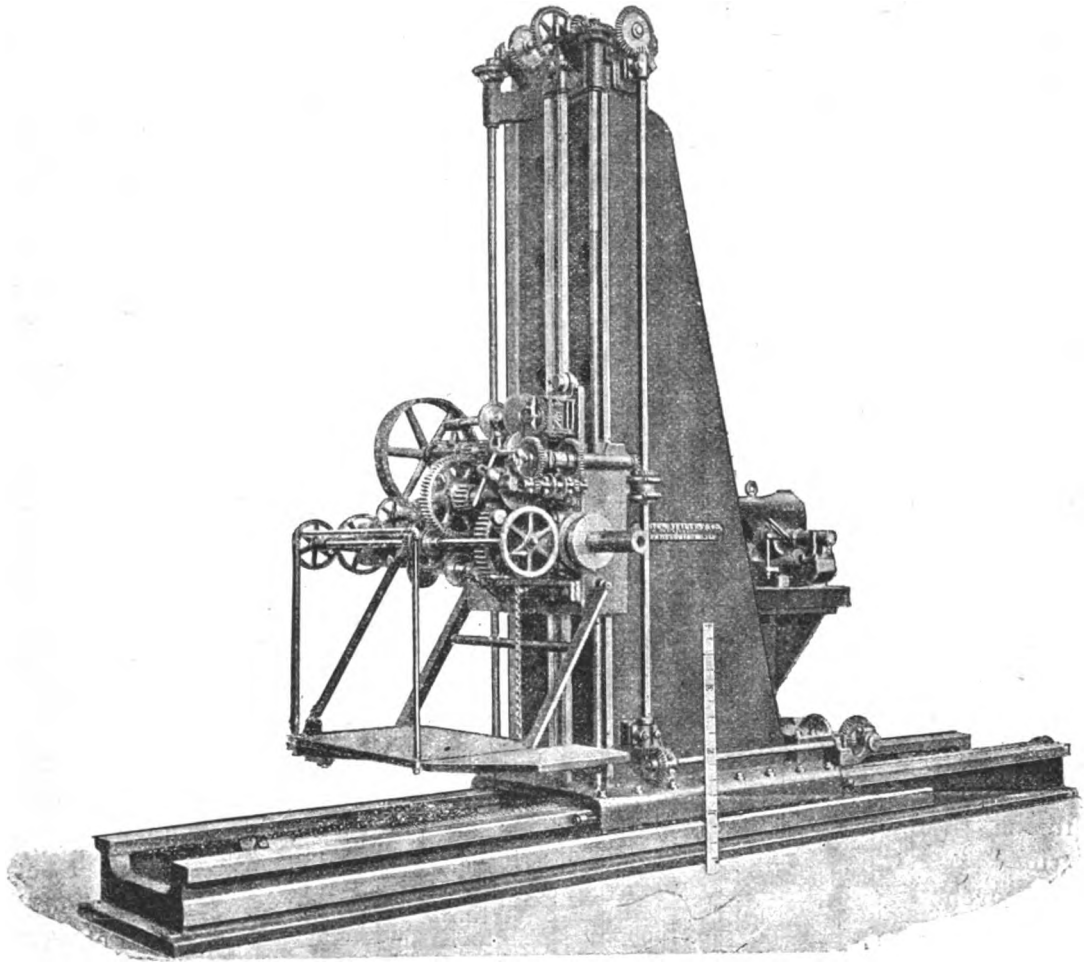


Fig. 1. — Perceuse aliseuse électrique Sellers.

commandent toute espèce de machines de chaudronnerie : poinçonneuses, cisailles, cintreuses, etc., avec les mêmes avantages que pour la conduite des machines de construction proprement dites.

Les applications de l'électricité à la commande des machines-outils sont, en effet, encore peu répandues dans les forges ; aussi croyons-nous intéressant de reproduire le tableau ci-après, qui donne quelques résultats de leur application à des outils de forge et de chaudronnerie dans les usine de MM. *Dorman-Long and C°*, à Middlesborough (1).

(1) *Trans of the Inst of Engineers and Shipbuilders in Scotland*, 22 janvier 1893, p. 36. « On Electrical Transmission of Power in Ihipyards and on Board Merchant. Steamers» by *W. C. Wallace*.

Digitized by Google

	Commandés par un moteur indiquant en chevaux	Remplacé par une dynamo de	Voltage à la génératrice	Voltage à la réceptrice	Intensité à la génératrice	Puissance électrique absorbée en travail
Groupe de : 3 scies à froid, 2 cisailles, une affûteuse de scies	27	10 1/2	120	115	70	10.7 %
Une dresseuse.	14	3 1/2	120	115	12	1.9
Une poinçonneuse double, poinçonnant 4 trous d'un côté et 1 de l'autre	14	5	120	115	25	3.7
Une dresseuse.	15	3 1/2	120	115	35	2.3
Une grosse dresseuse	16	3 1/2	120	115	35	5.4
Une scie à froid de 650mm.	9	3 1/2	120	110	15.27	2.2 et 3.9

En Angleterre, je citerai les belles études de MM. *Richardson* et *Selby Bidge*, auxquelles j'ai emprunté le tableau ci-dessus. L'atelier de MM. Dorman Long and C° était actionné par 8 machines à vapeur très différentes : une vieille machine à balancier de 50 chevaux, dépensant près de 28 kg. de vapeur par cheval indiqué ; une machine horizontale à deux cylindres commandant deux dynamos pour l'éclairage et de nombreux outils, dont la puissance varie de 40 à 95 chevaux indiqués, avec une dépense minima de 16 kg. de vapeur par cheval indiqué ; deux moteurs horizontaux à un cylindre de 45 et 30 chevaux, dépensant de 30 à 31 kg. de vapeur par cheval indiqué ; deux moteurs verticaux de 10 et 15 chevaux, dépensant de 31 à 26 kg. de vapeur par cheval. Ces moteurs sont desservis par une canalisation de vapeur excessivement longue — plus de 2 kilomètres, et très onéreuse, perdant à peu près 20 p. 100 de la vapeur par des condensations, et contribuant pour sa large part à forcer la dépense moyenne de la vapeur à 23 kg. par cheval-heure indiqué. Dans de pareilles conditions, qui paraissent, *à priori*, exceptionnellement mauvaises, mais qui sont assez fréquentes dans les vieux ateliers développés au jour le jour, le remplacement de ce système, des plus hétérogènes, par une seule machine Compound, ou, tout au moins, par une seule station centrale de force motrice actionnant l'atelier par dynamo-génératrices et réceptrices réduirait de plus de moitié, d'après M. Richardson, la dépense de vapeur par cheval effectifs aux outils, en comptant une perte de 18 p. 100 pour les résistances passives aux moteurs et de 27 p. 100 pour les dynamos et leur transmission, conducteurs, etc. ; c'est-à-dire que, exactement, pour une puissance de 500 chevaux, la dépense de charbon tomberait, en admettant une vaporisation de 8 kg. par kilogramme de houille, de 36 à 13 tonnes par jour.

Souvent l'on se contente de remplacer, dans la machine-outil actionnée électriquement, la poulie de commande par une dynamo, ce qui est évidemment, dans bien des cas, une solution fort incomplète de la question, comme, par exemple, dans le cas des raboteuses, où l'on est, il semble, tout naturellement incité à remplacer le mécanisme compliqué et souvent bruyant du changement de marche par deux dynamos, l'une pour la marche avant, l'autre pour la marche arrière comme aux ateliers de *Crocker Wheeler*. Pour les tours on peut (fig. 2) placer avantageusement la dynamo dans la poupée motrice, avec renvoi habituel par contre-arbre PBgS. La dynamo est protégée par un couvercle à charnière H, et commutateur R, qui la rend parfaitement accessible. En figure 3, le commutateur et le rhéostat sont disposés latéralement, et commandés par une tringle longitudinale avec levier à secteur denté monté sur cette tige, et solidaire du tablier du chariot, bien à la main de l'ouvrier.

Les perceuses ont été l'une des premières machines-outils auxquelles on ait appliqué l'électricité (1) parfois avec addition, pour les

(1) *La Lumière électrique*, Perceuses de Buckford, 4 juillet 1893, p. 13. Houghton, Linders, Sauter, 6 février 1892, 265. Rowan, 9 juillet 1892, 62. Siemens et Baily, 13 août 1892, 307. Weyburn, 29 octobre 1892, 313.

Digitized by Google

perceuses mobiles ou portatives, d'électro-aimant permettant de les rendre, comme le type bien connu de Clark et Stanfield (1) adhérentes à la tôle en perçage. Nous citerons comme type récent de ce genre de machines celles de *Gibbs* représentée par les figures 4 à 11. L'armature de la dynamo y actionne, par le train réducteur $h\ h_1\ h_2\ h_3\ h_4\ h_5$, le foret avancé par la manette g_3, et la perceuse est fixée sur sa tôle par les électro-aimants ff. Pour bien amener la pointe du foret au-dessus du trou à percer, on a muni l'un des supports e d'un centreur constitué par un bras j, à encoche j_3, que l'on amène au-dessus du coup de pointeau i_6 après l'avoir orienté convenablement par la prise de la butée j_5 de e dans son encoche i_4. On est alors certain que la pointe du foret est exactement dans l'axe de j_6; on fixe la perceuse par ses électros f, on écarte j comme en pointillés (fig. 9) et l'on attaque le perçage.

Le commutateur de cette perceuse est indiqué en détail par les figures 10 et 11. La boîte à rhéostat l est pourvue d'une plaque à quatre bornes $m\ n\ o\ p$, correspondant par les fils du câble q aux quatre bornes $m_1\ n_1\ o_1\ p_1$ de la perceuse. Les trous de ces bornes sont de formes

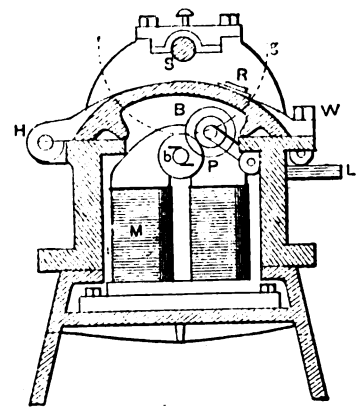


Fig. 2.

différentes de manière à ne pouvoir être remplies chacune que par leur propre fiche, ce qui évite toute chance d'erreur et tout tâtonnement. Le borne n_1 est reliée aux électro-aimants f et f_1, n_1 aux inducteurs de la dynamo-perceuse, o_1

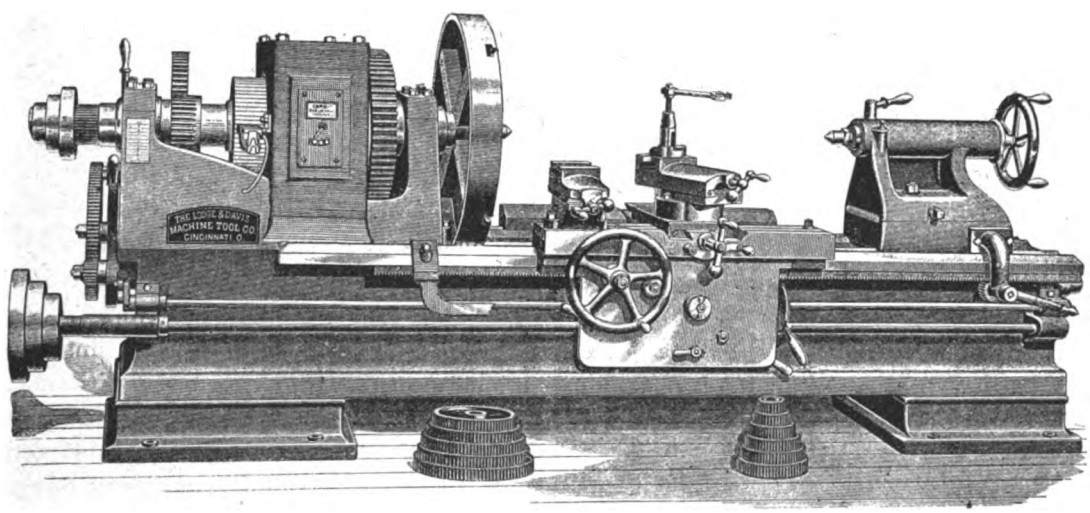


Fig. 3. — Tour électrique Lodge et Davis.

à l'un des balais de l'armature, et p_1 à l'autre balai, à f et aux inducteurs, par un fil de retour commun.

Quant au rhéostat, il se compose (fig. 10 et 11) d'une suite de résistances t, u, v, w, x..., reliées en séries et chacune à l'une des touches t_1, u_1, v_1, w_1, x_1..., en outre, t et t_1 sont reliés à la borne m par t_2, et y_1 x à n par x_2. Quand le

(1) *La Lumière électrique*, 23 août 1884, p. 249.

Digitized by Google

bras s_1 fait contact avec t_1, le courant passe par m et n au travers des électro-aimants f, f, des inducteurs et de tout le rhéostat ; et t_1 est prolongé par un arc t_2, de manière à ne jamais rompre la liaison de s_1 avec la borne m. Le pivot s_2 de s_1 porte une fourche z, à deux ta-

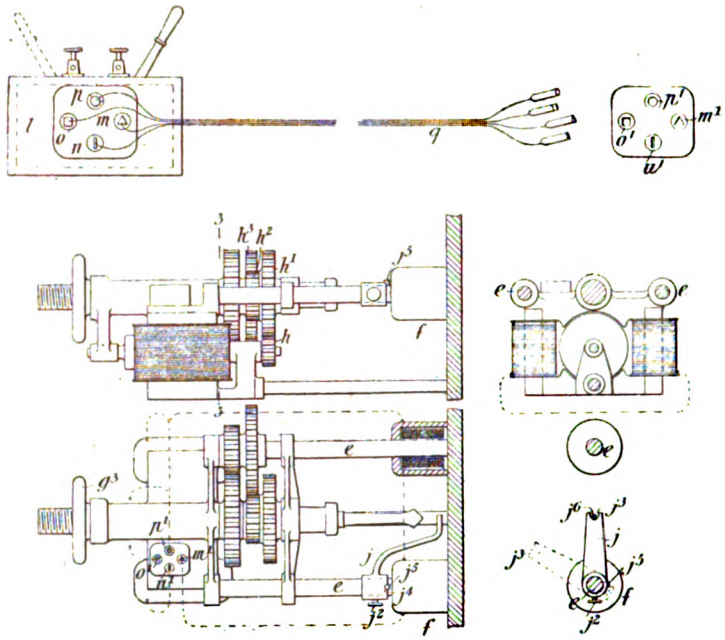


Fig. 4 à 9. — Perceuse électrique Gibbs. Ensemble des circuits et détail de la perceuse.

quets z_1 et z_2. Quand s_1 arrive en z_6 il a, par z_3, rompu le courant du bras z_3 de la fourche avec

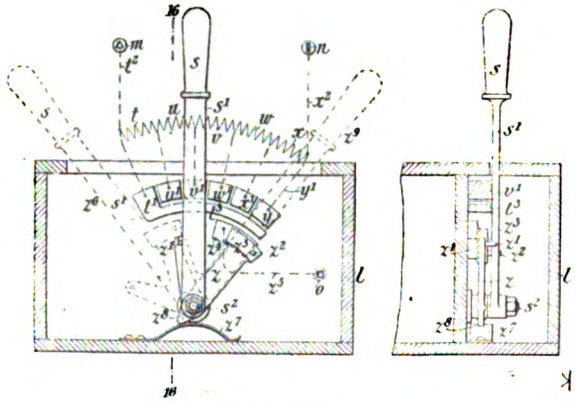


Fig. 10 et 11.
Perceuse Gibbs. Détail des commutateurs.

le contact z_4 relié à la borne o de l'armature, tandis qu'il la rétablit par z_4 aussitôt qu'il passe de t_1 à u_1, puis pendant toute sa course de t_1 à y en z_9, point auquel les résistances sont toutes supprimées, et le courant lancé au maximum dans l'armature de la dynamo-perceuse.

Mais ce n'est pas seulement dans les ateliers de construction proprement dits que l'application des transmissions électriques trouve sa raison d'être, et fait chaque jour de grands progrès. Il me suffira de rappeler l'installation de MM. *Forest et C*ie à Saint-Étienne, qui emploient, dans leur rubannerie, 60 dynamos de 25 kilogrammètres, avec un rendement de 55 p. 100 pour la commande directe des petits métiers, 40 moteurs d'un cheval commandant chacun un métier par courroie, 5 de 1 à 3 chevaux, et 2 de 20 à 25 kilogrammètres ; en tout 102 dynamoteurs, qui fonctionnent parfaitement bien. On se rendra d'ailleurs parfaitement compte de l'intérêt que peut présenter le remplacement de transmission ordinaire par l'électricité dans les filatures, par exemple, à

Digitized by Google

l'examen du diagramme, figure 12, qui représente le résultat moyen d'un grand nombre de cas relevés aux États-Unis par la maison *Crocker Wheeler* (1). On a supposé que l'on employait une puissance maxima de 50 chevaux, et l'on a porté en ordonnées les puissances

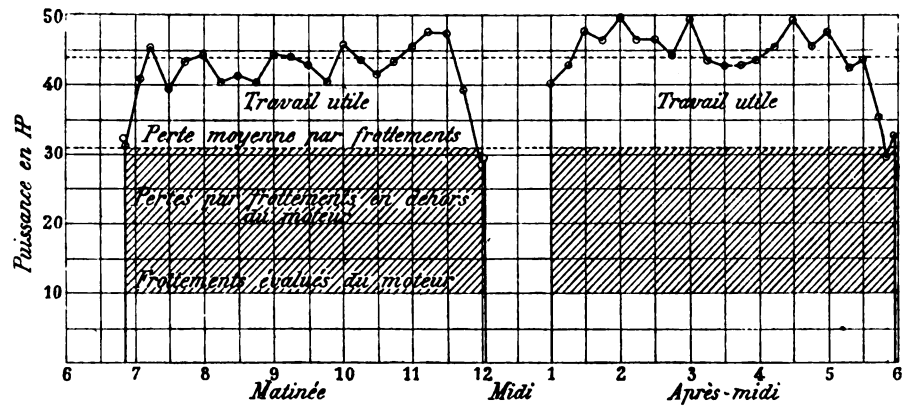


Fig. 12.

absorbées par le frottement du moteur, ceux de la tranmission, et le travail utile aux différentes heures du jour. On voit, qu'avec une puissance moyenne indiquée de 44 chevaux 1 au moteur, il y en a eu 31,3 d'absorbés par le frottements, dont 21,3 par les transmissions, soit 62,5 p. 100 de la puissance totale et 66,4 p. 100 de la puissance utilisée, aux métiers. Avec

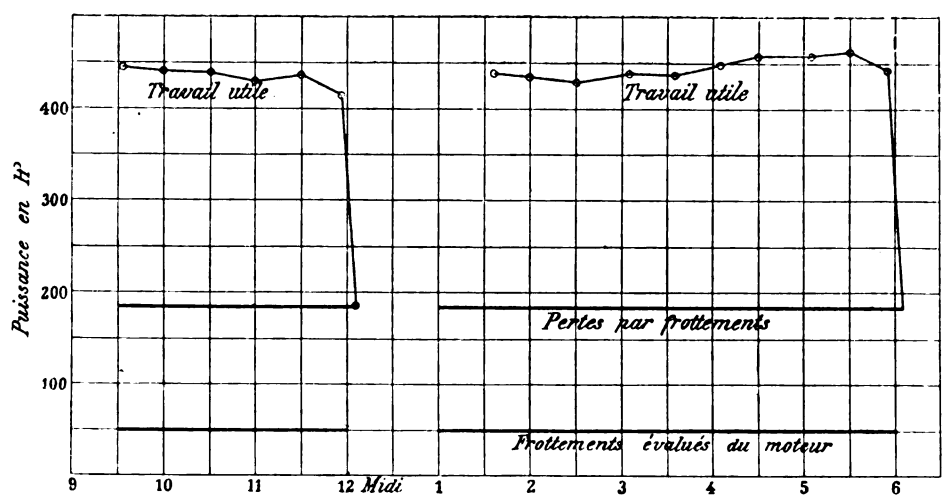


Fig. 13.

l'électricité, on réduirait cette perte à 50 p. 100 du travail utilisé, ou à 6, 4 chevaux, avec une économie de 15 chevaux ou de 4,500 francs par an, au taux de 300 francs par cheval et par an. Comme le remplacement des transmissions ordinaires par l'électricité coûterait environ

(1) *Engineering Magazine*, février 1895.

Digitized by Google

10.000 francs, on voit. qu'en comptant l'intérêt et l'amortissement à 10 p. 100, soit 1.000 francs, on gagnerait, par l'adoption de l'électricité, environ 3.500 francs par an, ce qui en vaut largement la peine.

Cet avantage de l'électricité diminue évidemment dans les grandes manufactures où le travail du moteur est mieux utilisé; tel est, par exemple, le cas de la grande filature de soie américaine dont le diagramme figure 13 indique que, sur une puissance moyenne de 435 chevaux, on en utilise directement 250, avec un frottement total de 185 chevaux dont 135 environ pour la transmission, dont, le rendement est ainsi de 65 p. 100. Avec l'électricité et un moteur de 400 chevaux actionnant des réceptrices de 1 à 5 chevaux, le rendement ne dépasserait guère 70 p. 100, soit une économie d'une trentaine de chevaux, de sorte qu'il n'y a peut-être pas un intérêt d'économie réel à tout déranger pour remplacer, dans ce cas, les transmissions ordinaires par l'électricité.

Voici enfin quelques exemples d'installation américaine, qui montrent bien le parti que l'on peut tirer des transmissions électriques dans les cas les plus divers.

Dans une grande brasserie de Millwaukee, une station centrale avec deux dynamos de 120 kilowatts et une de 60 pour l'éclairage, distribue la force motrice à 23 dynamoteurs de 50, 40, 30 chevaux, etc., dont deux de 50 accouplées en quantité sur un même arbre. Cette brasserie, divisée en plusieurs bâtiments, occupe un très grand espace, impossible à desservir par un centre moteur unique autrement qu'au moyen de transmissions électriques, qui seules ont permis de remplacer toute une série de petites machines à vapeur, avec leurs chaudières de faible rendement et disséminées, par une installation unique, parfaitement établie avec un seul mécanicien; de sorte que l'on a réalisé de grands avantages sous tous les rapports, tout en amenant en outre la force motrice dans des parties de l'établissement où elle n'existait pas encore.

A *Greenpoint*, dans une grand chantier de construction de ponts et de charpentes métalliques où les machines-outils : cisailles, poinçonneuses, perceuses, cintreuses, etc., sont employées très irrégulièrement et doivent se déplacer souvent pour suivre le travail, on a avantageusement remplacé différents moteurs faisant en tout 149 chevaux par un moteur unique de 75 chevaux actionnant les transmissions électriques en même temps qu'il fournit l'éclairage à l'arc et à l'incandescence de toute l'usine. La faculté que présente la transmission électrique de mobiliser à volonté les machines-outils, de les apporter à l'ouvrage au lieu d'être obligé de leur transporter des pièces déjà à demi montées et souvent très lourdes, offre parfois de très grands avantages. L'un des ateliers américains où l'on en a profité avec le plus de succès, est celui de la Southwark Foundry, qui construit les célèbres machines rapides d'Allen.

GUSTAVE RICHARD.

(*A suivre.*)

LES COEFFICIENTS D'INDUCTION DES CONDUCTEURS MULTIPLES

Le développement toujours croissant que prennent les transports de force par courants alternatifs semble remettre à l'ordre du jour l'étude de l'induction dans les conducteurs parallèles. On sait, en effet, que la connaissance des coefficients d'induction devient nécessaire pour se rendre compte des chutes de voltage dont une ligne peut être le siège. L'importance du sujet a d'ailleurs été mise en lumière récemment par M. A. Blondel, dans une savante étude sur l' « inductance des lignes aériennes (1).» Je n'y reviendrai pas et me bornerai à exposer ici comment on peut calculer les coefficients d'induction, dans le cas général des conducteurs multiples.

On sait, en effet, que dans la construction des câbles souterrains, comme pour les lignes aé-

(1) *L'Eclairage électrique*, nº 9, 7, 6, 11, 1894.

Digitized by Google

riennes, on remplace fréquemment le conducteur unique par un système de plusieurs conducteurs parallèles dont chacun possède une section moindre. Si l'on veut connaître les chutes de voltage qui peuvent se produire dans de semblables systèmes, il est nécessaire de connaître ce que deviennent alors les coefficients d'induction.

Dans un article publié récemment dans les *Archives des Sciences physiques et naturelles* (Nov. et Déc. 1894), j'ai développé cette question, particulièrement au point de vue théorique. J'insisterai donc davantage ici sur les applications, m'en référant à l'article précité pour les démonstrations complètes.

§ I

Le calcul du coefficient de self-induction d'un conducteur cylindrique dont le rayon de courbure est grand relativement à la dimension transversale de sa section, peut être remplacé, comme on sait, par la recherche du *coefficient d'induction mutuelle de deux conducteurs linéaires, parallèles, de même forme, placés à une distance* A *l'un de l'autre;* A étant la moyenne géométrique des distances de tous les éléments de la section S du conducteur[1]; A est alors défini par l'expression

$$S^2 \log A = \iint \log r \, dS' dS'' \qquad (1)$$

dans laquelle r désigne la distance qui sépare deux éléments de surface dS' et dS''.

Or, le coefficient d'induction mutuelle de deux conducteurs linéaires est donné, comme on sait, par la double intégrale

$$M = \int\int \frac{\cos w}{r} \, ds_1 \, ds_2$$

qui peut être assez facilement obtenue lorsque les conducteurs linéaires sont rectilignes ou circulaires.

Dans le cas où l'on a deux conducteurs rectilignes de longueur l placés à une distance d, le coefficient d'induction mutuelle a pour expression

$$M = 2l\left[\log_e \frac{l + l\sqrt{1 + \frac{d^2}{l^2}}}{d} - \sqrt{1 + \frac{d^2}{l^2}} + \frac{d}{l}\right];$$

pour deux circonférences de rayon ρ

$$M = 4\pi\rho\left[1 + \frac{3}{16}\frac{d^2}{\rho^2} + \ldots\ldots\right]\log_e \frac{8\rho}{d} - 4\pi\rho\left[2 + \frac{d^2}{10\rho^2} + \ldots\ldots\right];$$

pour deux carrés de côtés b

$$M = 8b\left[\log_e \left(\frac{b}{d}\,\frac{1 + \frac{d^2}{b^2} + \sqrt{1 + \frac{d^2}{b^2}}}{1 + \sqrt{2 + \frac{d^2}{b^2}}}\right) + \sqrt{2 + \frac{d^2}{b^2}} - 2\sqrt{1 + \frac{d^2}{b^2}} + \frac{d}{b}\right].$$

Dans la plupart des applications, ces formules se simplifient par la considération que la longueur des conducteurs et très grande relativement à leur distance. Les formules deviennent alors en faisant $\frac{d}{l} = \frac{d}{e} = \frac{d}{b} = 0$ et en les écrivant sous une forme comparative

$$M = 2l\left\{\log_e \frac{2l}{d} - 1\right\}.$$

$$M = 4\pi\rho\left\{\log_e \frac{4\pi}{d}\rho - 2.45\right\}.$$

$$M = 8b\left\{\log_e \frac{8b}{d} - 2.85\right\}.$$

Le problème du coefficient d'induction mutuelle de deux conducteurs linéaires une fois résolu, on passe au cas de conducteurs de section quelconque, mais de même forme, en remplaçant d par la moyenne distance géométrique des éléments de la section; soit A dans le cas d'un coefficient de self-induction. Le résultat ainsi obtenu n'est évidemment qu'approché, mais s'écarte peu de la réalité, si le rayon

(1) MAXWELL. *Electricité et Magnétisme*, chap. XIII et XIV.

Digitized by Google

de courbure, comme nous l'avons supposé, est grand relativement à la section tranversale du conducteur.

Le problème se trouve donc ramené à la recherche de la moyenne distance géométrique des éléments de la section totale du conducteur.

Dans ce but, il m'a paru digne d'intérêt, *d'exprimer d'abord la moyenne distance géométrique des éléments d'un ensemble de surfaces* $(S_1 + S_2 + \dots S_n) = S$ *en fonction des moyennes distances géométriques de chaque surface considérée isolément* (*soit* $a_1, a_2, \dots a_n$) *et des moyennes distances géométriques* ($a_{(1.2)} \dots a_{(n-1.n)}$) *des surfaces considérées deux à deux.*

En s'appuyant sur les définitions précédentes on voit aisément que la moyenne distance cherchée A a pour expression

$$\log A = \frac{S_1^2 \log a_1 + \dots S_n^2 \log a_n + 2 \left\{ S_1 S_2 \log a_{(1.2)} + \dots S_{n-1} S_n \log a_{(n-1.n)} \right\}}{S^2} \qquad (I)$$

Cette expression est tout à fait générale. Mais comme les conducteurs en usage sont le plus souvent des fils à section circulaire, cette formule permettra toujours, après un calcul plus ou moins long, de déterminer la moyenne distance géométrique et le coefficient de self-induction d'un système de fils parallèles à sections circulaires. On sait en effet que la moyenne distance des éléments d'un cercle est égale à $0{,}7788\, r$ (r = rayon) et que la moyenne distance de deux cercles est la distance des centres.

Il convient de remarquer toutefois que le calcul effectué au moyen de cette formule devient très long à mesure que le nombre n des conducteurs augmente ; car la parenthèse contient autant de termes que l'on peut former de combinaisons avec les n conducteurs pris deux à la fois $\left(\text{soit } \frac{n(n-1)}{2}\right)$. On verra plus loin comment, dans certains cas, on peut abréger considérablement les calculs.

Il n'est sans doute pas inutile de rappeler dès maintenant que la notion mathématique de coefficient d'induction n'a de signification physique précise que si l'on peut considérer la densité du courant comme uniforme dans toute la section. Cette condition sera remplie si les fils parallèles qui constituent un système conducteur ont tous même résistance spécifique et si les variations des forces électromotrices sont suffisamment lentes.

Parmi les systèmes de conducteurs multiples que l'on peut étudier à l'aide de la formule précédente, il en est un qui présente un intérêt particulier. C'est celui d'un système de n fils parallèles dont les sections circulaires sont réparties à égale distance les unes des autres sur une circonférence (fig. 1). Un pareil système représente, en effet, un dispositif souvent employé dans les câbles électriques.

La formule (1) se simplifie d'abord considérablement par le fait que toutes les surfaces

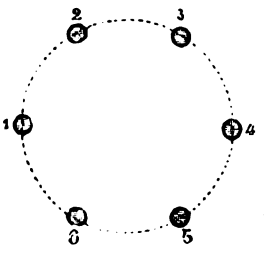


Fig. 1.

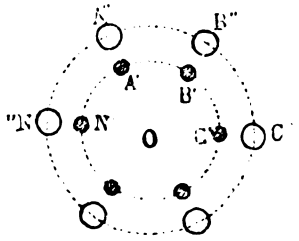


Fig. 2.

sont égales et le théorème de Cotes permet de la réduire en définitive à l'expression.

$$\log A = \frac{1}{n} \log \left(a_1 n R^{n-1} \right); \qquad (1)$$

n, nombre des conducteurs.

a_1 moyenne distance géométrique des éléments de la section d'un fil, considéré isolément, soit ($a_1 = 0.7788r$).

R, rayon de la circonférence sur laquelle les sections des fils sont distribuées.

Cette moyenne distance A connue, il devient possible de calculer le coefficient de self-induction d'un certain nombre de systèmes conduc-

Digitized by Google

teurs représentés par les figures 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Le tableau suivant donne la valeur des coefficients de self-induction calculés par la formule précédente, et exprimés en fonction des rayons r et R pour différents systèmes.

CONDUCTEUR RECTILIGNE DE LONGUEUR l

Fils séparés :		*Fils adjacents :*	
Deux fils (fig. 3)	$2l\left\{\log_e \frac{2l}{\sqrt{rR}} - 1.22\right\}$	(fig. 4	$2l\left\{\log_e \frac{2l}{r} - 1.22\right\}$
Trois fils (fig. 5)	$2l\left[\log_e \frac{2l}{\sqrt[3]{rR^2}} - 1.28\right]$	fig. 6)	$2l\left\{\log_e \frac{2l}{r} - 1.38\right\}$
Quatre fils (fig. 7)	$2l\left[\log_e \frac{2l}{\sqrt[4]{rR^3}} - 1.28\right]$	fig. 8)	$2l\left\{\log_e \frac{2l}{r} - 1.54\right\}$
Cinq fils	$2l\left[\log_e \frac{2l}{\sqrt[5]{rR^4}} - 1.28\right]$		$2l\left\{\log_e \frac{2l}{r} - 1.70\right\}$
Six fils	$2l\left[\log_e \frac{2l}{\sqrt[6]{rR^5}} - 1.26\right]$		$2l\left\{\log_e \frac{2l}{r} - 1.82\right\}$
. . . . .		. . . . .	

CONDUCTEUR DE FORME CIRCULAIRE DE RAYON ρ

Deux fils (fig. 3)	$4\pi\rho\left[\log_e \frac{8\rho}{\sqrt{rR}} - 2.22\right]$	fig. 4)	$4\pi\rho\left[\log_e \frac{8\rho}{r} - 2.22\right]$
Trois fils (fig. 5)	$4\pi\rho\left[\log_e \frac{8\rho}{\sqrt[3]{rR^2}} - 2.28\right]$	(fig. 6)	$4\pi\rho\left[\log_e \frac{8\rho}{r} - 2.38\right]$
. . . . .		. . . . .	

CONDUCTEUR DE FORME CARRÉE DE COTÉ b

Deux fils (fig. 3)	$8b\left[\log_e \frac{8b}{\sqrt{rR}} - 3.07\right]$	(fig. 4)	$8b\left[\log_e \frac{8b}{r} - 3.07\right]$
Trois fils (fig. 5)	$8b\left[\log_e \frac{8b}{\sqrt[3]{rR^2}} - 3.13\right]$	(fig. 6)	$8b\left[\log_e \frac{8b}{r} - 3.23\right]$
. . . . .		. . . . .	

Lorsque le nombre n des fils devient grand la valeur de $\log A$ tend à devenir égale à

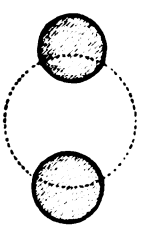


Fig. 3.

Fig. 4.

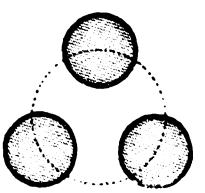


Fig. 5.

$\log R$. Le coefficient de self-induction est alors le même que celui d'un tube conducteur mince de rayon moyen R. On a donc, quel que soit le nombre des fils

$$L = 2l\left\{\log_e \frac{2l}{R} - 1\right\}$$

pour un conducteur rectiligne.

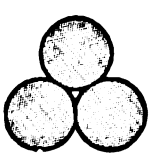


Fig. 6.

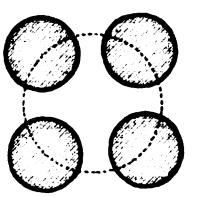


Fig. 7.

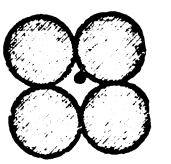


Fig. 8.

§ II

On sait que le *coefficient d'induction*

(1) L'*Eclairage électrique*, n° 1, 1894.

Digitized by Google

mutuelle de deux conducteurs parallèles, de section quelconque, peut être remplacé par celui de deux conducteurs linéaires, de même forme, placés à la moyenne distance $A_{(1,2)}$ *des deux sections* S_1 *et* S_2; $A_{(1,2)}$ étant défini par l'expression.

$$S_1 S_2 \log A_{(1,2)} = \int\int \log r \, dS_1 . dS_2$$

En s'appuyant sur cette définition on peut représenter la moyenne distance géométrique de deux systèmes de surfaces par

$$\log. A_{(1,2)} = \frac{S_1 S_2 \log A'_{(1,2)} + \dots S_{1(m)} S_{2(m)} \log A'_{[1(m),2(m)]}}{S_1 S_2} \qquad (II)$$

dont le numérateur renferme les combinaisons que l'on peut former avec les surfaces deux à deux, prises l'une dans le système S_1, l'autre dans le système S_2 (soit n_1, n_2).

Cette formule permettra donc d'aborder l'étude des coefficients d'induction mutuelle des conducteurs multiples sous les mêmes réserves que précédemment. Elle s'appliquera donc seulement au cas des conducteurs cylindriques de grand rayon de courbure.

Soit à déterminer le coefficient d'induction mutuelle de deux systèmes de n conducteurs (fig. 2).

Le théorème de Cotes permet de simplifier l'expression (II); lorsque tous les fils d'un même système sont identiques on a

$$\log A_{(1,2)} = \frac{1}{n} \log (R''^n - R'^n) \qquad (2)$$

R'' et R' désignant les rayons des circonférences sur lesquelles sont répartis chacun des systèmes.

La connaissance de la moyenne distance A_{12} permet alors de calculer immédiatement le coefficient d'induction mutuelle des deux systèmes de conducteurs.

Dans le cas de systèmes rectilignes on a

$$M = 2l \left\{ \log_e \frac{2l}{\sqrt[n]{R''^n - R'^n}} - 1 \right\}$$

Lorsque le nombre des fils grandit on a très approximativement $\log A_{1,2} = \log R''$ et le coefficient d'induction mutuelle des deux systèmes équivaut à celui de deux conducteurs tubulaires concentriques, c'est-à-dire qu'il est indépendant de la forme de la section du conducteur intérieur.

$$M = 2l \left\{ \log_e \frac{2l}{R''} - 1 \right\}$$

§ III

Envisageons maintenant le mode le plus fréquent d'emploi des conducteurs multiples; celui où la somme algébrique des intensités qui traversent les conducteurs est nulle. C'est le cas où une partie des conducteurs sert de retour à l'autre.

On sait alors que le coefficient de self-induction du système devient

$$L = 2l \left\{ \log_e \frac{A^2_{(1,2)}}{A_1 A_2} \right\}$$

quelle que soit d'ailleurs la forme générale du circuit pourvu que son rayon de courbure soit grand relativement à la dimension transversale du système; $A_{(1,2)}$, A_1, A_2 sont dans le cas des conducteurs multiples, les moyennes distances définies par les formules générales (I) et (II).

Nous avons vu comment ces expressions peuvent se simplifier dans le cas de n fils égaux répartis sur une circonférence. En substituant les valeurs dans la formule précédente on obtient immédiatement le coefficient de self-induction d'un conducteur (fig. 2) dont les n fils intérieurs forment le conducteur d'aller et les fils extérieurs le retour. Un semblable système présente une grande analogie avec certains câbles électriques.

On pourrait calculer d'une façon tout à fait analogue le coefficient de self-induction d'un

(1) *L'éclairage électrique*, n° 1, 1894.

Digitized by Google

câble formé d'un fil central à section circulaire entouré de n fils égaux dont l'ensemble forme le conducteur de retour (fig. 10).

§ IV

Dans tous les exemples précédents, les conducteurs multiples ont été choisis égaux et symétriquement disposés. Il en résulte nécessairement que les courants auront à chaque instant même phase et même intensité dans chaque conducteur. On peut donc considérer la densité du courant comme uniforme dans l'ensemble de la section d'un système et la méthode de la moyenne distance géométrique est rigoureusement applicable.

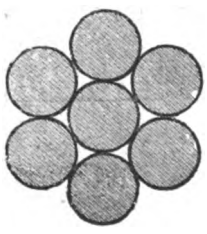


Fig. 9.

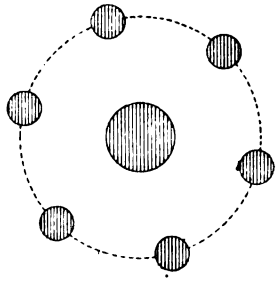


Fig. 10.

Mais dans le cas général où les conducteurs n'ont pas des sections identiques ou sont distribués d'une façon quelconque, il peut arriver, même pour des variations moyennement rapides des forces électromotrices, que les courants n'auront pas à chaque instant même densité dans chacun des conducteurs. Il suffit pour cela, que par suite des coefficients de self-induction et d'induction mutuelle des divers conducteurs les courants diffèrent par la phase. On sera, dans ce cas, obligé de recourir à la méthode ordinaire, et de résoudre la question au moyen d'un système de n équations différentielles simultanées de la forme

$$(p'-p'') - \left(L_1 \frac{di_1}{dt} + M_{(1,2)} \frac{di_2}{dt} + M_{1,3} \frac{di_3}{dt} + \ldots\ldots\right) = i_1 R_1$$

comme on le fait pour les courants dérivés.

Mais dans ce cas, il n'y a plus, à proprement parler, de coefficient de self-induction et nous sortons du cadre auquel nous nous sommes limités.

Toutefois dans un grand nombre de cas, particulièrement lorsque les conducteurs multiples sont identiques et placés à des distances de même ordre, la densité du courant sera très sensiblement uniforme et l'on pourra appliquer les formules (I) et (II).

Proposons-nous, par exemple, de calculer le coefficient de self-induction d'une longueur l d'un conducteur (fig. 9).

On peut considérer l'ensemble des sections périphériques comme une surface unique, dont nous connaissons la moyenne distance géométrique A_1 à l'aide des formules précédentes, et appliquer la formule (I) à cette surface et à la section du fil central. On obtient alors pour la moyenne distance A de toute la section

$$\log A = \frac{1}{49} \log(3.57 \times 10^{16}) + \log r$$

qui donne pour valeur du coefficient de self-induction du conducteur rectiligne.

$$L = 2l \left\{ \log_e \frac{2l}{r} - 1.78 \right\}$$

On pourrait multiplier ces exemples et chercher par des considérations analogues le coefficient de self-induction d'un système composé de plusieurs systèmes concentriques de n fils chacun.

Toutefois, comme nous l'avons fait remarquer au début de cette étude, le calcul de la moyenne distance devient généralement très long lorsque le nombre des conducteurs augmente.

Si donc, on ne veut pas effectuer un calcul complet, il est néanmoins facile de se rendre compte rapidement de la valeur approximative des coefficients d'induction, en calculant les limites inférieures et supérieures que peuvent prendre ces coefficients. C'est par cette remarque que nous terminerons.

Supposons le cas le plus fréquent où tous les conducteurs sont des fils identiques et désignons par a_k la plus petite distance entre deux

Digitized by Google

conducteurs, par a_m la plus grande. On aura évidemment en appliquant la formule (I).

$$\log A \begin{cases} < \dfrac{\log a_1 + (n-1)\log a_m}{n} \\ > \dfrac{\log a_1 + (n-1)\log a_k}{n} \end{cases}$$

Les deux valeurs de log A fourniront deux valeurs correspondantes du coefficient de self-induction entre lesquelles la valeur réelle est nécessairement comprise.

De même, on aurait, en appliquant la formule (II), pour le coefficient d'induction mutuelle de deux systèmes de conducteurs multiples égaux,

$$\log A_{(1,2)} \begin{cases} > \log a_{(1,2)m} \\ < \log a_{(1,2)k} \end{cases}$$

Si les limites ainsi calculées sont trop larges il sera toujours facile de les resserrer en calculant les k termes du numérateur correspondant aux plus grandes et aux plus petites distances et en posant que le reste est

$$\begin{cases} < \left(\dfrac{n(n-1)}{2} - k\right) \log a'_m \\ > \left(\dfrac{n(n-1)}{2}\right) - k \log a'_k \end{cases}$$

dans le cas d'un coefficient de self-induction et

$$\begin{cases} < (n_1 n_2 - k) \log a_{(1,2)m} \\ > (n_1 n_2 - k) \log a_{(1,2)k} \end{cases}$$

dans celui d'un coefficient d'induction mutuelle.

Tels sont, esquissés dans leurs traits principaux, les avantages que l'on peut tirer de la méthode de la moyenne distance géométrique, appliquée au calcul des coefficients d'induction. Bien que le principe de cette méthode ne soit pas nouveau, il m'a paru néanmoins digne d'intérêt d'en développer la fécondité d'une façon plus complète qu'on ne l'a fait jusqu'à présent, en l'appliquant spécialement au cas des conducteurs multiples à section circulaire.

CH. EUG. GUYE,
Professeur agrégé à l'École polytechnique de Zurich.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Le chauffage électrique des théâtres.

Dans notre chronique nous avons déjà dit un mot de l'application qui vient d'être faite du chauffage électrique au théâtre du Vaudeville, à Londres. La maison Crompton, qui s'est

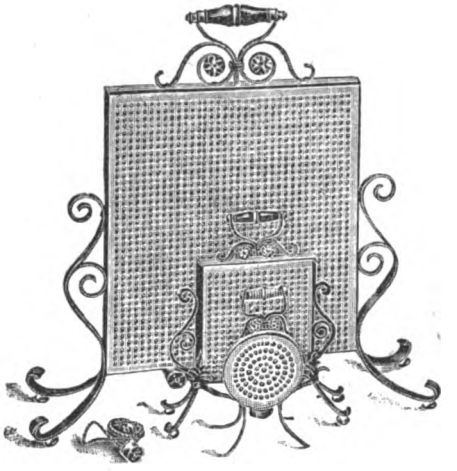


Fig. 1. — Radiateur électrique mobile.

fait une spécialité dans cette partie, y a installé un certain nombre de ses « radiateurs » qui assurent le chauffage de la salle. Nous apprenons aussi que des essais sont en cours dans plusieurs autres salles de spectacle de Londres.

Dans les figures 1 et 2 sont représentés les modèles de radiateurs fixes et portatifs dont MM. Crompton et C° font usage. Les grands radiateurs portatifs absorbent 12 ampères sous la tension ordinaire des réseaux. Les petits radiateurs fixes prennent 3 ampères.

Au théâtre mentionné plus haut, la salle entière est chauffée par des appareils absorbant en tout 90 ampères sous 100 volts. Leur commodité d'emploi tient surtout à cette circonstance qu'il n'est pas nécessaire de les faire fonctionner longtemps avant le commence-

Digitized by Google

ment du spectacle, et qu'on peut les régler à volonté. Ils ne présentent, d'ailleurs, aucun danger, car ils ne peuvent dépasser une certaine température, et ne sont pas sujets à se détériorer.

On en propose l'emploi dans les églises et, en général, dans toutes les grandes salles, où

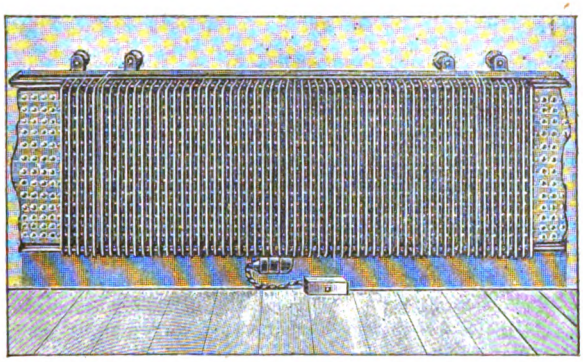


Fig. 12. —Radiateur électrique fixe.

la chaleur doit pouvoir être répartie et réglée à volonté.

A. H.

Sur l'emploi des différents procédés d'accumulation d'énergie dans les stations centrales, par Perry.

Au dernier Congrès de la *National electric Light Association* tenu à *Cleveland* en février, M. *Perry* communiqua une étude sur l'exploitation rationnelle des stations centrales au point de vue particulier de l'accumulation de l'énergie.

La concurrence pour l'abaissement des prix de revient fait de ce sujet une question vitale en Amérique où jusqu'ici les conditions de charge étaient plus ou moins négligées; les discussions du Congrès jettent un certain jour sur les avantages des différents procédés.

M. Perry base son étude sur une station fonctionnant normalement à pleine charge pendant une année de 7.884 heures sans réserve d'énergie d'aucune sorte et examine les économies que permettent de réaliser les systèmes pratiques d'exploitation connus jusqu'ici.

Les conditions suivantes sont admises pour la station que nous qualifierons à *pleine charge continue :*

1° La puissance de la machinerie est de 1 ch. 4 par cheval effectif;

2° La consommation d'eau est supposée de 9 kg. par cheval-heure effectif, y compris les pertes et l'alimentation des machines auxiliaires;

3° Le taux de production de vapeur est de 9 kg. par kilogramme de charbon.

En tenant compte de l'amortissement du capital engagé et des intérêts, le prix de revient total annuel de 1 cheval électrique s'élève à 253 fr. 40, le charbon coûtant 8 fr. 95 la tonne, et à 341 fr. 10, le charbon coûtant 17 fr. 90.

Si la charge est soumise aux variations ordinaires d'une station centrale, il faut compter 5 ch. 87 indiqués à l'heure par cheval effectif, et la consommation de charbon monte à 1 kg. 900.

Le prix de revient sous ces conditions atteint 611 fr. 90 et 772 francs suivant que le charbon est à 8 fr. 95 ou à 17 fr. 90 la tonne.

La marge à combler par l'accumulation d'énergie sera donc, suivant le cas, de 358 fr. 50 et 430 fr. 90.

Si, pour produire la même quantité d'énergie, les chaudières fonctionnaient continuellement au taux le plus économique, le coût du cheval effectif annuel s'abaisserait à 452 fr. 45, et la différence à affecter aux appareils d'accumulation nécessaires entre les chaudières et les divers engins, à prix de revient égal, ne serait plus que de 159 fr. 45.

Si la réserve était introduite entre l'engin et la dynamo, cette addition économiserait 272 fr. 80 par cheval électrique, et, entre les dynamos et la distribution, on obtiendrait un autre gain de 77 fr. 05.

Les différentes méthodes économiques considérées par l'auteur de la communication sont les suivantes :

Digitized by Google

1° Batteries d'accumulateurs;
2° Moteurs à gaz;
3° Emmagasinement de la vapeur.

Dans une *batterie d'accumulateurs* fournissant le *débit total* de la station, le prix de revient annuel d'un cheval électrique serait de 640 fr. 65, soit de 28 fr. 75 supérieur à l'exploitation sans aucune réserve avec un facteur de charge de 25 p. 100 (charbon à 8 fr. 95).

Si le prix du charbon est de 17 fr. 90, le prix de revient devenant 758 fr. 70, la différence est en faveur des accumulateurs, mais seulement de 13 fr. 30.

Le prix d'achat élevé de la batterie et l'entretien coûteux sont les causes principales de ce désavantage.

Néanmoins, l'*emploi limité* d'accumulateurs est très pratique, mais seulement pour les jours où la charge est excessivement faible ou bien pour fournir un complément de charge qu'une unité supplémentaire mise en service donnerait dans de mauvaises conditions.

Les *moteurs à gaz* fournissant un cheval pour 0 kg. 435 à 0 kg. 625 de charbon, donnent un prix de revient annuel de 458 fr. 40, soit 153 fr. 50 d'économie par cheval électrique.

Avec du charbon à 17 fr. 90 ces chiffres deviennent respectivement 538 fr. 05 et 233 fr. 95.

L'emmagasinement ou *accumulation de la vapeur* peut se faire par plusieurs procédés.

Trois méthodes sont en présence et se distinguent par la façon dont la réserve de vapeur est utilisée.

Dans le procédé, dit à *réserve de vapeur,* les chaudières déterminées pour fournir seulement aux charges moyennes travaillent toujours à pleine charge, c'est-à-dire à leur meilleur rendement, et sont reliées à des réservoirs qui accumulent l'excès de vapeur fournie par les chaudières pendant les périodes de faible charge pour la restituer au moment de la demande maxima.

Dans ce système, les chaudières et réservoirs travaillent à 20 kg. par centimètre carré, et les machines à 10 kg. Les chaudières sont complètement remplies d'eau et sont en communication libre et constante avec les réservoirs; le système est disposé pour avoir une circulation d'eau ininterrompue entre les chaudières et les réservoirs. La vapeur nécessaire aux machines est prise aux réservoirs au moyen d'une valve de réduction.

Dans la méthode dite à *réserve d'alimentation*, l'excès d'énergie durant les périodes de faible charge est encore accumulé dans des réservoirs comme ci-dessus, mais les chaudières ne sont pas complètement remplies. La vapeur des machines est prise exclusivement aux chaudières, l'eau surchauffée des réservoirs est employée pendant la pleine charge pour l'alimentation des chaudières.

Enfin la troisième méthode, que nous appellerons méthode mixte, est une combinaison des deux précédentes : la pression est égalisée aux chaudières et aux réservoirs, et les machines s'alimentent aux deux sources.

Les résultats sont les suivants pour le prix de revient annuel du cheval effectif

Procédé par réserve de vapeur.	612 fr.	20
» » » d'alimentation. . . .	507	90
» mixte	492	10

le charbon étant toujours supposé à 8 fr. 95 la tonne.

Si le prix s'élève à 17 fr. 90, les chiffres précédents deviennent respectivement 699 fr. 85, 610 fr. 75 et 578 fr. 75.

En résumé, le haut prix d'achat de la batterie écarte cette solution pour une exploitation exclusive par accumulateurs; le rôle de ceux-ci ne peut être qu'un auxiliaire de secours.

Les moteurs à gaz semblent aptes à fournir la solution la plus économique.

Viennent ensuite les procédés de réserve appliqués aux chaudières.

Le tableau suivant donne les résultats fournis par le calcul dans chacun des cas.

Digitized by Google

		PRIX DE REVIENT ANNUEL de 1 cheval électrique		ÉCONOMIE RÉALISÉE	
		Charbon à 8 f. 95 la tonne	Charbon à 17 f. 90 la tonne	Charbon à 8 f. 95 la tonne	Charbon à 17 f. 90 la tonne
		fr.	fr.	fr.	fr.
A pleine charge	sans réserve	253 40	341 40	» »	» »
	avec moteur à gaz	458 40	538 05	153 50	233 95
	réserve de vapeur; système mixte	492 10	578 75	119 80	193 25
	réserve d'alimentation	507 90	610 75	104 »	161 25
Facteur de charge 25 %	sans réserve	611 90	772 00	» »	» »
	réserve de vapeur	612 20	699 85	— 0 30	+ 72 15
	batterie d'accumulateurs complète	640 65	758 70	— 28 75	+ 13 20

Le prix du charbon, comme on pouvait d'ailleurs le prévoir, joue un rôle très important, et les prévisions indiquées ci-dessus seraient certainement dépassées de beaucoup dans nos régions; il suffit, pour s'en faire une idée, de s'en rapporter au prix du charbon par tonne.

Dans la discussion très vive qui a suivi la lecture de cette étude, M. *Lloyd* a combattu les critiques adressées au système par accumulateurs par M. Perry dont il trouve les évaluations exagérées de 50 p. 100. Sans reprendre les chiffres relatifs aux autres systèmes, M. Lloyd estime que ceux indiqués pour les accumulateurs devraient être réduits respectivement à 437 francs et 520 fr. 55, donnant des économies positives de 174 fr. 90 dans un cas et 251 fr. 45 dans l'autre.

Le professeur *Stine* pense que le préjudice causé aux accumulateurs en Amérique est dû principalement à la défectuosité de leur construction et à la méconnaissance des règles pour leur bonne exploitation.

Enfin, M. *Edgar,* de la *Boston Edison illuminating Company* qui opère avec une batterie très importante, économise 10 p. 100 de combustible, et il rapporte qu'une usine dont la puissance est répartie par moitié entre les accumulateurs et les machines à vapeur coûte seulement 75 p. 100 de premier établissement de ce qu'elle coûterait en n'employant que des machines.

Il résulte de là que l'accord n'est pas très net entre les partisans des divers systèmes.

Cependant le rapport de M. Perry admet la coopération limitée des accumulateurs, et nous y voyons une confirmation des règles de la pratique européenne. Pour avoir été moins vite en besogne, nous aurions quand même trouvé la bonne voie.

Il nous a paru intéressant, à cause de la généralité de l'étude et du choix des divers cas, d'en donner cette analyse étendue.

Il en ressort la supériorité incontestable des moteurs à gaz; la parole est aux constructeurs pour créer à bref délai les unités de grande puissance.

Il y a lieu également de remarquer que l'utilisation de la matière, tant dans les machines à vapeur que dans les dynamos, étant arrivée à l'heure actuelle au voisinage du maximum qu'il soit permis d'espérer, il y a encore de notables améliorations à obtenir par une production rationnelle de la vapeur.

C'est donc des chaudières et de l'accumulation de la vapeur qu'il reste à tirer un meilleur parti.

E. J. B.

Application du système à 3 fils à la traction électrique, par Louis Bell.

Dans la longue étude de M. Louis Bell sur la transmission électrique de l'énergie, publiée en articles successifs par l'*Electrical World,* l'auteur cite une intéressante application du système à 3 fils à la traction des tramways si répandue aux États-Unis.

Comme le fait observer M. L. Bell, la majorité des applications de l'énergie électrique à la traction s'effectue à l'aide de moteurs

Digitized by Google

montés en série, fonctionnant sous différence de potentiel constante ou à peu près telle. On obtient la régulation à l'aide de rhéostats en série avec les moteurs, qui permettent de faire varier la différence de potentiel à leurs bornes, ou en couplant ces moteurs en parallèle ou en série les uns avec les autres, ou enfin par une combinaison de ces divers procédés. Cette manière de faire a pour elle la simplicité d'enroulement des moteurs et le développement d'un effort très considérable au démarrage, qualités précieuses dans le service des railways.

Indépendamment de leur application à la traction, les moteurs en série fonctionnant sous différence de potentiel constante, sont fréquemment employés pour les monte-charges et autres appareils exigeant un couple de démarrage puissant et un champ de vitesse considérable au gré de l'opérateur. Malgré cela, il n'existe guère d'installation générale basée uniquement sur cette méthode, par suite de ce qu'on a généralement à combiner, dans le même système, des moteurs montés en série pour les travaux à fortes charges et des moteurs montés en dérivation pour les applications où la régularité de vitesse est de première importance. Dans ces conditions, la transmission d'énergie s'effectue généralement à distance relativement faible et implique en réalité le problème de la distribution plutôt que la transmission simple. Les installations industrielles isolées ne manquent cependant pas et un grand nombre de moteurs employés sont du type adopté pour les railways.

La différence de potentiel sous laquelle ils fonctionnent est généralement, au moins, en Amérique, de 200 à 250 volts ou de 500 à 600. La première est particulièrement adoptée dans les mines où les difficultés d'isolement sont considérables ou dans l'alimentation de moteurs installés sur les lignes à 3 fils déjà existantes. La dernière est choisie de préférence pour les exploitations au-dessus du sol. Les installations et le mode de distribution sont, en général tout à fait analogues à celles employées dans l'exploitation des railways électriques. Bien qu'il soit parfaitement possible d'enrouler des moteurs en série pour des différences de potentiel dépassant de beaucoup les derniers chiffres, telles que 1.000 ou 1.200 volts ou même davantage en certains cas, on y a rarement recours, et, la plupart des installations de distribution d'énergie exigeant généralement des moteurs puissants et de petits moteurs, montés les uns en série, les autres en dérivation, on maintient ordinairement la différence de potentiel dans des limites qui permettent de satisfaire à ces exigences. Aussi, en Amérique, a-t-on adopté communément 500 volts comme régime pratique pour les railways.

Les seules exceptions dignes d'être mentionnées sont celles qui comportent l'emploi du système à 3 fils pour la distribution de l'énergie aux moteurs de railways et autres. Cette méthode permet de transmettre la puissance sur 1.000 volts et d'employer des moteurs de 1.000 volts, soit en série soit en dérivation, pour les plus grandes unités destinées à maintenir l'équilibre général, tout en appliquant, en même temps, des moteurs de toutes dimensions à enroulement quelconque pour courant continu, branchés entre le fil médian et l'un ou l'autre des conducteurs extérieurs. Les avantages de cette disposition apparaissent immédiatement, et, si le nombre des moteurs est considérable, de manière à permettre d'équilibrer assez exactement le système, on a ainsi à sa disposition un mode précieux de distribution de courants continus. Il est intéressant de noter que ce système a pris son premier développement important dans le service même de la traction électrique. Naturellement, l'emploi de moteurs de 110 et de 220 volts sur les systèmes à 3 fils est relativement assez répandu; mais son extension à l'exploitation des voies électriques, dans des conditions d'équilibre assez variables, est un pas considérable dans la transmission à courant continu.

La figure ci-après représente le mode d'exploitation d'un railway électrique dans ce

Digitized by Google

système. La ligne est ici à double voie; c'est dans ce cas que la méthode s'applique le mieux. Le sol avec fil supplémentaire sert de conducteur neutre, les deux voies étant, à cet effet, mises en parallèle et en communication sur toute leur longueur. Sur une ligne à double voie, les voitures circulant de chaque côté du système seront de fait en nombre égal, et si le nombre des voitures est considérable, on pourra obtenir un très bon équilibre, moins exact cependant qu'il n'est nécessaire et habituel dans une installation d'éclairage, dans ce système à 3 fils. Pour améliorer encore l'équilibre du système et prévenir tout dérangement résultant éventuellement d'une voie bloquée en un point, il est préférable de diviser le fil de trolley au-dessus de chaque voie en sections de polarité alternée et de longueur convenable, de telle sorte que, même en cas de voie bloquée arrêtant un nombre considérable de voitures, la charge se trouve presque également répartie des deux côtés du système. Ainsi installé, un système de railway fonctionne sous différence de potentiel nominale de 1.000 volts, et l'économie de cuivre par rapport à la distribution ordinaire sous 500 volts est considérable, en dépit du défaut inévitable d'équilibre, notamment sur les petites lignes, exigeant un fil neutre de capacité plus grande que d'habitude. La quantité totale de cuivre nécessaire dans ce cas, à 1.000 volts entre les fils extérieurs, avec une grande marge pour le fil neutre, qui dans ce cas n'est autre que les voies, n'est guère supérieure, si elle l'est, à 40 p. 100 du cuivre nécessaire pour un railway ordinaire fonctionnant sous 500 volts. L'avantage qui en résulte est, on le voit, très considérable, surtout pour les longues lignes. Le système à 3 fils n'est pas nécessairement limité aux lignes à double voie; même dans celles à voie unique, on peut en relier diverses sections ou branchements de manière à constituer un système à 3 fils bien équilibré.

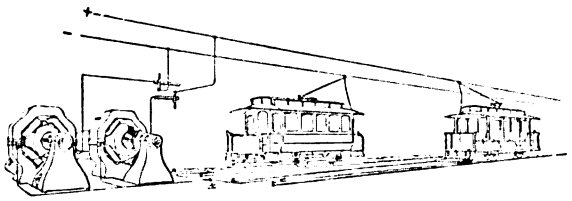


Fig. 1.

Il est intéressant de noter que cette disposition est adoptée, en Amérique, depuis ces dernières années, sur plusieurs railways urbains, et que, dans certaines villes, la puissance est transmise par de longs feeders venant de stations centrales actionnées hydrauliquement.

Tout récemment les accidents sérieux causés, sur un grand nombre de vastes réseaux de railways électriques, par l'action électrolytique du courant sur les tuyaux de gaz et d'eau, ont mis en relief, toute question de transmission à part, le système à 3 fils. Il est, en effet, évident que, là où la terre et les rails ne servent que de fil neutre, les courants qui se dérivent sont relativement faibles, tandis que, avec les dispositions habituelles, la terre et les rails ont à véhiculer tout le courant employé, ce qui a pour résultat presque inévitable une action électrolytique plus ou moins dangereuse pour les câbles et les tuyaux situés dans le voisinage des voies. En dehors de la traction, ce système, peu employé jusqu'ici, dans les transports d'énergie, peut rendre des services pour la distribution, sur des distances moyennes.

E. B.

Sur le meilleur métal pour les noyaux d'électros, par Alton D. Adams.

Une intéressante communication, qui, si elle n'apporte pas des idées nouvelles, établit du moins des points de repère comparatifs sur cette question, a été faite en janvier dernier par M. Alton D. Adams à l'*American Institute of electrical Engineers*.

Des trois matières, fonte, acier fondu et fer, qui s'offrent aux constructeurs pour la confection des électro-aimants, il est important de connaître quelle est celle qui fournira à meil-

Digitized by Google

leur compte et dans quelles proportions, une dynamo de puissance, vitesse, rendement et qualités de fonctionnement donnés. Cette question n'est pas absolument résolue, et la pratique est loin d'être uniforme. Les limites économiques de saturation exigeant à peu près la même force magnétisante sont respectivement d'un peu moins de 6.200 unités C. G. S. pour la fonte, 10.200 à 12.000 pour l'acier fondu, et 14.000 pour le fer.

Le prix de l'acier fondu étant équivalent à celui des pièces de forge de formes simples, et ses propriétés magnétiques le plaçant entre la fonte et le fer, le coût des machines dans lesquelles il entre sera intermédiaire entre ceux correspondant à la fonte et au fer. C'est en conséquence entre ces deux dernières que doit être faite la comparaison.

Pour la justifier, il est nécessaire d'avoir des machines identiques comme flux magnétique dans les noyaux d'inducteurs et d'induits, comme ampères-tours sur les induits, comme ampères-tours nécessaires dans les entre-fers et autant que possible dans les noyaux inducteurs, comme puissance absorbée dans les enroulements, et finalement comme puissance totale et vitesse angulaire.

Étant admis que l'induction maxima est dans le fer de 14.000 unités et dans la fonte, de 6.200 unités, la section équivalente de la fonte sera deux fois un quart celle du fer forgé, et, comme la longueur du noyau de fonte doit être un peu supérieure pour donner une longueur suffisante d'enroulement, son poids sera sensiblement deux fois et demie celui du fer. Il en résulte immédiatement une économie en faveur du fer, le fer forgé ne coûtant pas, à poids égal, deux fois et demie autant que la fonte.

Les bobines exigeant dans les deux cas la même puissance, et le poids du fil variant comme le carré de sa longueur, celles nécessaires avec la fonte seront beaucoup plus lourdes. Le noyau d'induit peut avoir le même diamètre dans chaque cas, mais il doit être plus long dans la carcasse de fonte de manière à venir sous les pièces polaires, ce qui augmente son poids.

Comme, pour une même résistance, le poids de l'enroulement d'induit augmente en raison du carré de sa longueur, le noyau d'induit exige beaucoup plus de cuivre dans la machine en fonte. En outre, les éléments purement mécaniques, tels que l'arbre et la plaque de fondation, doivent ici encore être beaucoup plus forts et coûteux, en raison des poids plus élevés qu'ils ont à supporter.

Pour illustrer la différence de prix de construction, prenons les données des deux machines représentées dans la figure suivante, ayant la même puissance de 25 kw. à 1.275 tours par minute, les mêmes pertes dans le bobinage, la même excitation d'induits, et une ex-

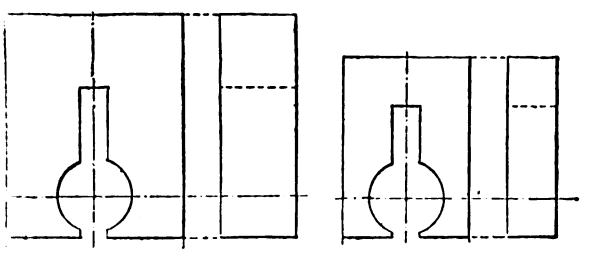


Fig. 1.

citation dans les entre-fers égale à deux fois environ celle de l'induit aux becs polaires.

Les entre-fers et les noyaux d'induits de chaque machine sont pénétrés par un flux de 4.320.000 webers, et, si l'on admet 5 p. 100 de dérivation, le noyau inducteur doit fournir 5.760.000 webers.

Un noyau inducteur destiné à faire passer un flux de 5.760.000 webers à raison d'une induction de 14.000 gauss, exige une section de 413 cm². qui donnera un noyau à section carrée de 20 cm. de côté, et un noyau de fonte, pour une induction de 6.200 gauss exigera une section de 930 cm. carrés correspondant à plus de 30 cm. de côté.

Étant donné que l'on réserve une longueur suffisante pour l'enroulement des inducteurs, la même réluctance d'entre-fers et un noyau d'induit de 71 cm. de diamètre pour chacune de ces carcasses, leurs dimensions correspondront aux constantes suivantes :

Digitized by Google

Leurs poids seront,

Pour carcasse en fer, de . .	462,5 kilogr.
Pour carcasse en fonte, de. .	1.238,3 —

Pour fonctionner en moteur-shunt la machine en fer exige 11.000 ampères-tours dans les entre-fers et 2.000 dans le fer; la machine en fonte, 11.000 ampères-tours dans les entrefers et 3.000 dans le fer.

Pour 440 watts dépensés dans les bobines inductrices de chaque machine, une longueur moyenne par spire de 96,5 cm. pour les bobines à noyau de fer et de 137 cm. pour celles à âme de fonte, les poids de cuivre de ces bobines sont de :

Pour carcasse en fer.	60 kilogr.
Pour carcasse en fonte. . . .	154 —

L'induit en tambour pour la carcasse de fer a 71 cm. de diamètre sur 20 cm. de long, et celui de la carcasse de fonte, 71 cm. de diamètre sur 30 cm. de long, sans marge pour le passage de l'arbre. Les poids respectifs des disques d'induits s'élèvent à :

Pour carcasse en fer	95,6 kilogr.
Pour carcasse en fonte . . .	143,3 —

Pour une perte, à pleine charge, de 490 watts dans l'enroulement d'induit pour la machine en fer, et de 464 watts dans le même enroulement pour la machine en fonte, ces enroulements exigent comme cuivre :

Pour carcasse en fer.	22 kilogr.
Pour carcasse en fonte . . .	32 —

Les chiffres ci-dessus montrent avec toute évidence la grande économie résultant de l'emploi de fer, au lieu de fonte, dans la construction d'une dynamo.

Au point de vue du consommateur, la machine paraît également préférable en raison de son moindre poids et de son encombrement moins grand ; cette différence est particulièrement marquée dans les machines destinées à être directement attelées sur les moteurs et dans toutes les circonstances où l'on est obligé de marcher à faible vitesse angulaire.

E. B.

Détermination de la forme des courants alternatifs dans les cas où l'alternateur n'est pas accessible, par J.A. Fleming (1).

Beaucoup de chercheurs ont appliqué, dans la détermination des courbes de courants alternatifs, la méthode bien connue consistant à fixer sur l'arbre de l'alternateur un contact disposé de façon à fermer un circuit pendant une fraction de seconde chaque fois que l'armature occupe une certaine position par rapport aux inducteurs.

L'auteur a pensé qu'un grand nombre de problèmes intéressants ne pouvaient être résolus que s'il était possible d'obtenir la courbe du courant d'un circuit quelconque sans avoir accès à l'alternateur ou aux alternateurs qui le produisent. Supposons, par exemple, une station centrale à courants alternatifs distribuant l'énergie électrique à un certain nombre de sous-stations à plusieurs kilomètres de distance ; il est alors intéressant d'examiner si la capacité des câbles produit un effet quelconque sur la forme de la courbe du courant, et dans ce cas il est évident qu'un contact tournant sur la dynamo est inapplicable.

Après un grand nombre d'expériences, l'auteur a réussi à construire un dispositif simple permettant d'obtenir ces courbes avec la plus grande facilité en un point et sur un circuit quelconques. Le principe adopté est des plus simples, mais les qualités de l'appareil dépendent entièrement des détails de construction. Il s'agit, en somme, de construire un petit moteur à courant alternatif, du type synchrone, absorbant la plus petite puissance possible et tournant très librement. L'arbre de ce moteur porte un dispositif de contact qui ferme un circuit à un instant donné de la période, et ce contact instantané met en communication la source de force électromotrice avec un voltmètre électrostatique servant à mesurer la chute de potentiel dans une résistance non inductive, intercalée soit entre les conducteurs de distribution, soit en série

(1) *The Electrician*, 15 février 1895.

Digitized by Google

avec ceux-ci. Nous décrivons ci-après les détails de la machine, dont la figure 1 montre l'ensemble.

La partie motrice consiste en deux séries d'inducteurs MM fixés sur deux disques de fonte. Entre ces inducteurs tourne une petite armature A, dont le noyau est formé d'une bande très mince de tôle de transformateur, recourbée en un anneau sur lequel sont enroulées les bobines induites. Celles-ci sont réunies entre elles en série, de façon à donner une succession de pôles de nom contraire autour de l'anneau. Le diamètre de cette armature est d'environ 15 cm. Les inducteurs ont huit pôles et l'armature a huit bobines. Les noyaux d'inducteurs ont 5 cm. de longueur et 4 cm. environ de diamètre. Réunis en série, les inducteurs prennent un courant d'environ 4 ampères pour le degré de saturation magnétique à obtenir.

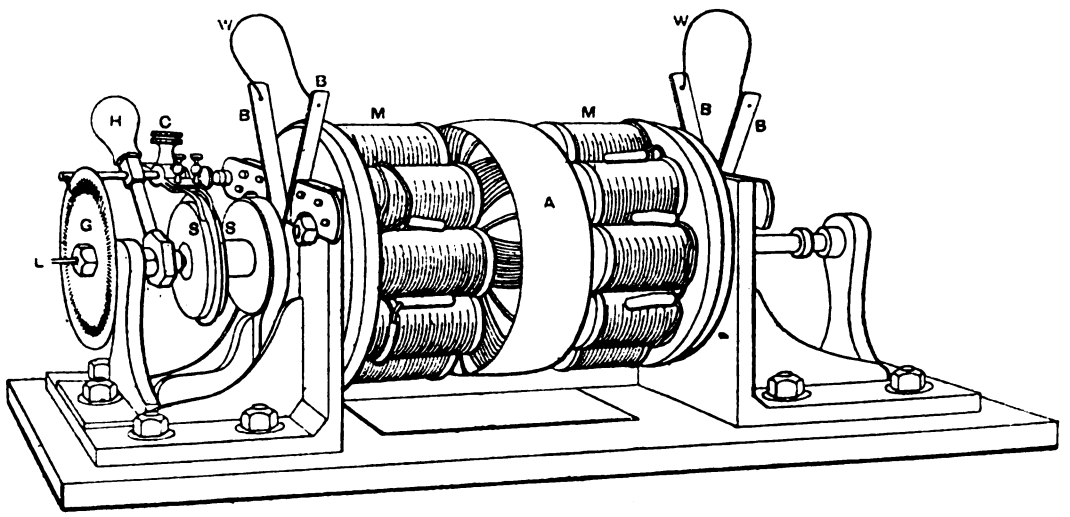


Fig. 1. — Moteur synchrone, pour la fermeture automatique du circuit.

L'armature est fixée sur un mandrin en bois dur calé sur un arbre en acier. Cet arbre repose dans des paliers à billes, disposés comme des coussinets de bicyclette. Pour éviter les déplacements longitudinaux de l'arbre, on a placé à chaque extrémité du bâti une colonne en fonte portant une vis en bronze contre laquelle vient buter l'extrémité arrondie de l'arbre.

Les extrémités de l'enroulement de l'armature sont soudées à deux petites bagues isolées, fixées sur l'arbre, et sur lesquelles frottent deux balais légers en laiton BB, légèrement appuyés sur les bagues par un fil d'acier W. Sur l'arbre se trouve encore un disque d'ébonite portant à sa circonférence une bande d'acier transversale. Deux ressorts isolés, SS, sont portés par un bras H pouvant tourner de 180 degré autour de l'axe de la vis de bronze qui le porte. Un index et un cadran gradué G permettent de déterminer exactement la position angulaire exacte des ressorts SS.

L'un de ces ressorts est maintenu par une petite vis de réglage qui permet de le décaler un peu par rapport à l'autre et de régler ainsi la durée du contact qui a lieu lorsque la bande d'acier transversale passe sous les ressorts et les relie électriquement. Une vis de serrage donne le moyen de soulever les ressorts et de régler la pression qu'ils exercent sur le disque d'ébonite.

Ce petit moteur synchrone avec son interrupteur constitue l'appareil servant à déterminer les courbes de courant et de différence de

Digitized by Google

potentiel. On fait démarrer le moteur en passant autour de l'arbre une lanière de cuir enduite de résine. Il faut envoyer dans les inducteurs un courant d'environ 4 ampères fourni par une batterie d'accumulateurs ou toute autre source constante. Le circuit de l'armature exige environ 2 ampères.

Admettons qu'il s'agisse de trouver la courbe de la différence de potentiel entre deux conducteurs de distribution à 100 volts. L'armature du moteur est intercalée entre les bornes en série avec un groupe de deux ou trois lampes à incandescence montées en parallèle Les inducteurs étant excités, l'opérateur passe la lanière autour de l'arbre, et en la tirant dans le sens voulu il fait démarrer l'armature. Si la fréquence est de 100 périodes par seconde, la vitesse du moteur doit être portée à environ 1,500 tours par minute avant que le moteur ne se mette en synchronisme.

Si la tension maxima à observer ne dépasse pas 160 volts, l'instrument le plus commode à employer est le voltmètre multicellulaire de lord Kelvin. Comme ces voltmètres ne donnent pas d'indication au-dessous de 60 ou 80 volts, il est nécessaire d'ajouter une force électromotrice constante. On se sert dans ce but d'une cinquantaine d'accumulateurs au lithanode. Cette batterie est mise en série avec le voltmètre limité par un condensateur d'environ 1,5 microfarad. Le tout est relié, par l'intermédiaire des ressorts SS aux deux points entre lesquels doit être déterminée la différence de potentiel.

Une fois le moteur en marche, l'aiguille du voltmètre prend une certaine déviation due à la force électromotrice de la pile plus la valeur de la différence de potentiel entre les bornes à un instant dépendant de la position du porte-ressorts.

L'expérience a montré que ce petit moteur à courants alternatifs, appliqué à l'étude d'un alternateur de la puissance habituelle des machines de stations centrales, n'affecte pas sensiblement la forme de la courbe de force électromotrice. Le moteur n'est qu'un moyen d'établir un contact à intervalles de temps synchroniques avec la période de l'alternateur, le courant qui traverse son armature n'intervient pas dans la mesure.

Cet appareil a servi tout d'abord à déterminer la courbe de la force électromotrice d'un alternateur Kapp. Celui-ci était muni d'un contact qui permettait de faire la même détermination par la méthode ordinaire. Les deux courbes obtenues ainsi par deux moyens différents ont été trouvées identiques.

L'appareil a été appliqué ensuite à l'étude de la tension et du courant primaires d'un transformateur Ganz de 10 chevaux alimenté par l'alternateur Kapp. Les courbes obtenues sont indiquées par la figure 2. Ce transformateur était construit pour transformer de 2.400 volts à 100 volts. Pour la détermination de la tension primaire, une résistance non inductive était placée entre les bornes à 2.400 volts, et absorbant dans ces conditions 1.000 watts. Cette résistance était divisée en deux sections, entre elles à peu près dans le rapport de 1 à 23. Les extrémités de la plus petite section étaient reliées au voltmètre (avec batterie et condensateur) et la différence de potentiel ainsi mesurée représentait une fraction connue de celle existant entre les bornes de la résistance non-inductive. Les bornes primaires du transformateur étaient ensuite reliées à celles de la résistance non inductive. En outre, une autre résistance était mise en série avec le primaire et produisait une chute de potentiel de 100 volts. Les mesures des différences de potentiel aux bornes de ces deux résistances ont permis de tracer les courbes de la tension et du courant primaires du transformateur.

La figure 2 donne trois courbes. Des courbes du courant et de la tension, on a déduit celle de l'induction magnétique, à laquelle se rapporte l'échelle verticale du milieu, tandis que les échelles de gauche et de droite se rapportent aux deux autres courbes. Les courbes de l'induction et du courant permettent aussi de calculer la courbe d'hystérésis, tout cela sans avoir accès à la source de courant.

Ces premières expériences ayant donné des résultats satisfaisants, l'auteur a appliqué

Digitized by Google

son appareil à des déterminations du même genre faites sur les circuits de la City of London Electric Lighting Company. On a déterminé de cette façon la courbe de la force électromotrice d'un alternateur Mordey à circuit ouvert, celle d'un alternateur Thomson-Houston de 350 kilowatts à circuit ouvert, ou fermé seulement sur une résistance non inductive absorbant 1.000 watts. On a déterminé aussi la courbe de la tension de cet alternateur alimentant les sous-stations de transformateurs entre 11 heures du soir et 5 heures du matin, quand le courant est suffisamment constant et quand la charge est presque uniquement *inductive*, puisqu'elle n'est formée que par des transformateurs peu chargés. Ont été déterminées également les courbes de groupes d'alternateurs, marchant isolément ou en parallèle, sur des résistances non inductives ou avec la charge habituelle de l'usine, et toutes ces courbes forment une addition intéressante, à notre connaissance, de la forme des courbes données par différentes machines et à différentes charges. Elles montrent la grande variabilité de la forme du courant.

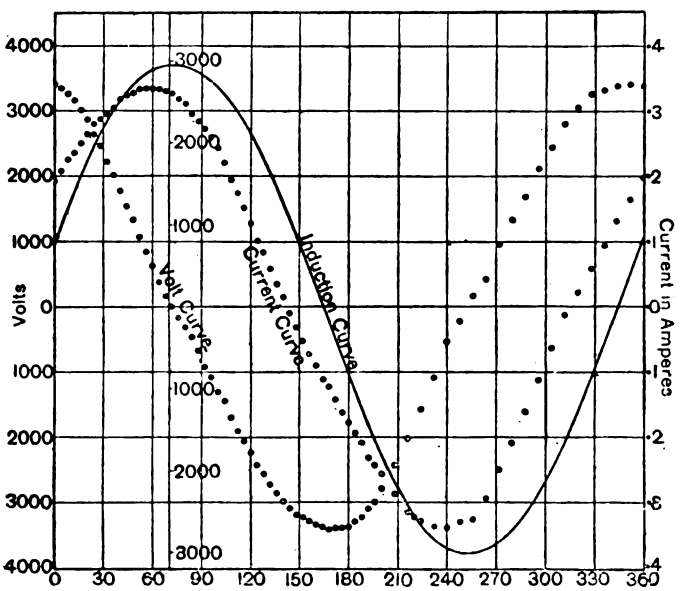


Fig. 2. — Current in Amperes : courant en Ampères. — Induction curve : courbe de l'induction. Current curve : courbe des Ampères. — Volt curve : courbe des volts.

Une question controversée a été résolue. Les pertes dans le fer d'un transformateur ont été déterminées, pour deux alternateurs différents, et l'on a trouvé que la perte dans le fer du transformateur est la plus faible lorsque l'alternateur donne la force électromotrice la plus éloignée de la sinusoïde simple.

Nous allons maintenant donner des reproductions des courbes obtenues avec l'appareil décrit à la station de Banksile de la Compagnie City of London Electric Lighting. L'appareil était installé dans un local à quelque distance de la salle des machines. Ses inducteurs étaient alimentés par le courant excitateur de la station.

La figure 3 donne la courbe de force électro-motrice d'un alternateur Mordey (A 14) de 100 kilowatts à circuit ouvert ou fermé seulement sur une résistance non inductive prenant 0,5 ampère, et l'armature de l'appareil absorbant 2 ampères. Chaque diagramme donne une onde complète. Les points d'observation sont si rapprochés les uns des autres qu'il n'est pas nécessaire de les joindre par un tracé.

Digitized by Google

On voit que la courbe de l'alternateur Mordey est peu différente en apparence de la courbe sinusoïde, si ce n'est que le sommet est un peu aplati. La force électromotrice de cet

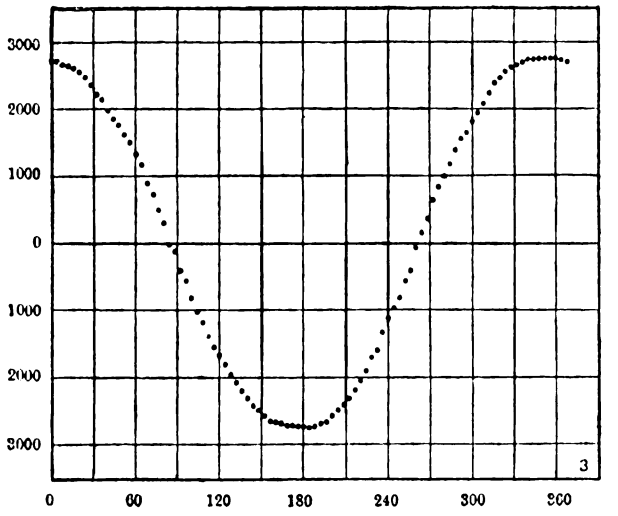


Fig. 3.

alternateur est de 2.030 volts d'après la lecture au voltmètre. C'est-à-dire que la force électromotrice efficace est de 2.000 volts, et le maximum n'est pas très différent de 2.750.

La figure 4 montre la courbe de force électromotrice du même alternateur à pleine charge,

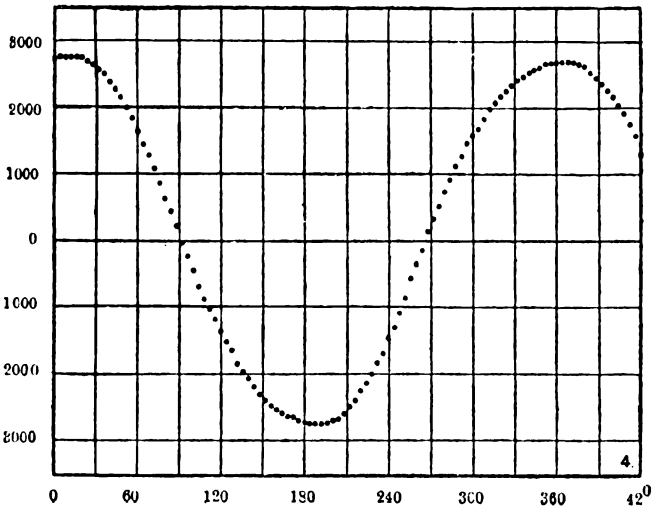


Fig. 4.

c'est-à-dire envoyant un courant de 50 ampères dans une résistance liquide. Cette courbe diffère peu de celle à charge nulle ; mais quand on les compare plus attentivement, on voit que la courbe à pleine charge est un peu déformée d'un côté. Prises ensemble, ces courbes indiquent une très faible réaction d'induit de la machine, la courbe de force

Digitized by Google

électromotrice étant presque indépendante de la charge. La force électromotrice de l'alternateur Mordey A 20 est beaucoup plus aplatie au sommet que celle de la machine A 14.

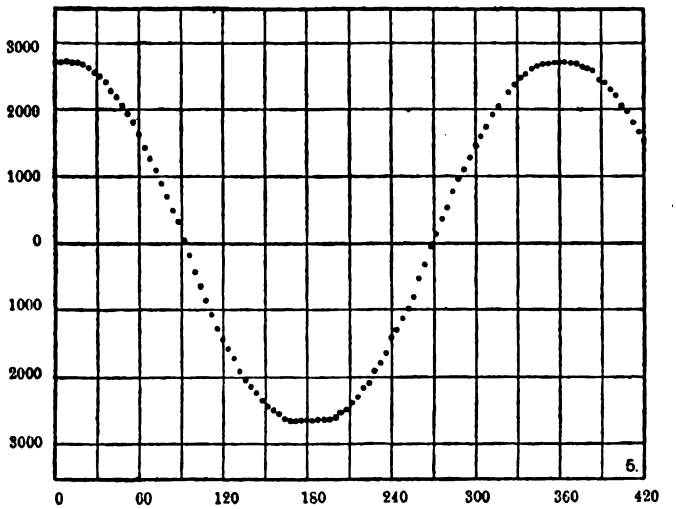


Fig. 5.

La figure 5 représente la courbe de force électromotrice de deux alternateurs Mordey (A 14) couplés en parallèle. Les machines ne fournissaient pas de travail extérieur, et l'on voit que la courbe résultante est semblable à celle fournie par une des machines.

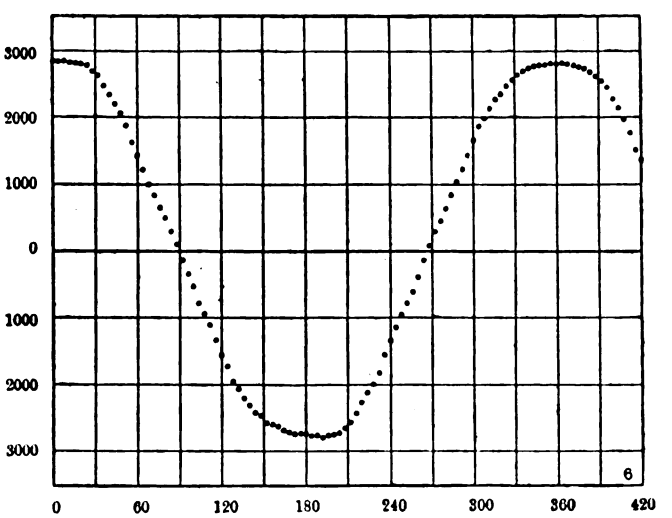


Fig. 6.

Dans la figure 6, la courbe indiquée est celle de la différence de potentiel, à la station de Bankside, prise le 26 janvier 1895, à partir de 11 heures du matin. Les machines alors en fonctionnement étaient deux alternateurs Mordey A 40 et A 20 travaillant en parallèle et fournissant environ 300 ampères. La courbe a été prise sur les barres omnibus de la station,

Digitized by Google

on voit qu'elle est un peu aplatie au sommet.

La figure 7 donne les courbes de la tension et du courant d'un alternateur Mordey A 20 donnant 72 ampères pendant le service de

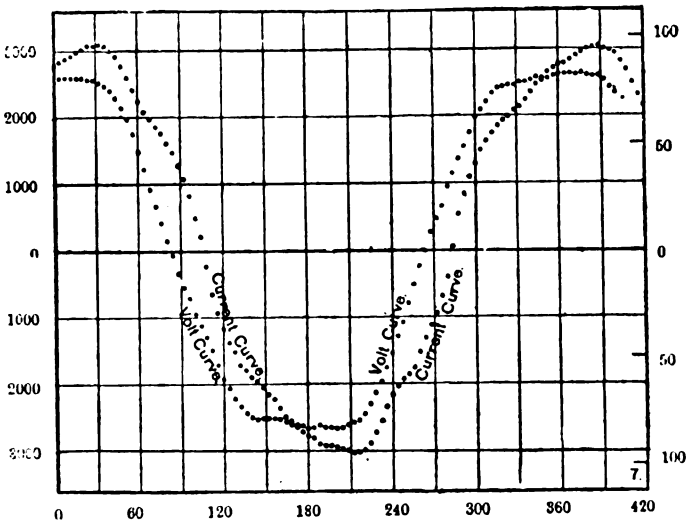


Fig. 7. — Current curve : courbe des ampères. — Volt curve : courbe des volts.

nuit, où la charge consiste principalement en transformateurs à secondaire ouvert. Cette courbe a été déterminée le 7 février entre 1 h. 1/2 et 6 heures du matin. On voit que le courant est décalé en arrière sur la différence de potentiel, et que la courbe de cette dernière

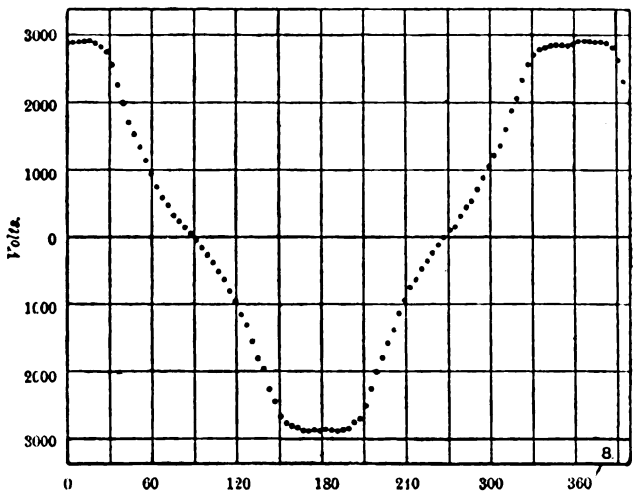


Fig. 8.

est aplatie et déprimée par rapport à celle obtenue pour la même machine travaillant sur une résistance non inductive. Ces deux courbes permettent de construire celle de la puissance.

La courbe représentée figure 8 est celle d'un alternateur Thomson-Houston de 350 kilowatts marchant à vide. On voit que la courbe présente des concavités sur les côtés et au

Digitized by Google

sommet qui la rendent très différente d'une sinusoïde.

Le même alternateur, en fonctionnement à Bankside sur la charge de nuit, a donné la

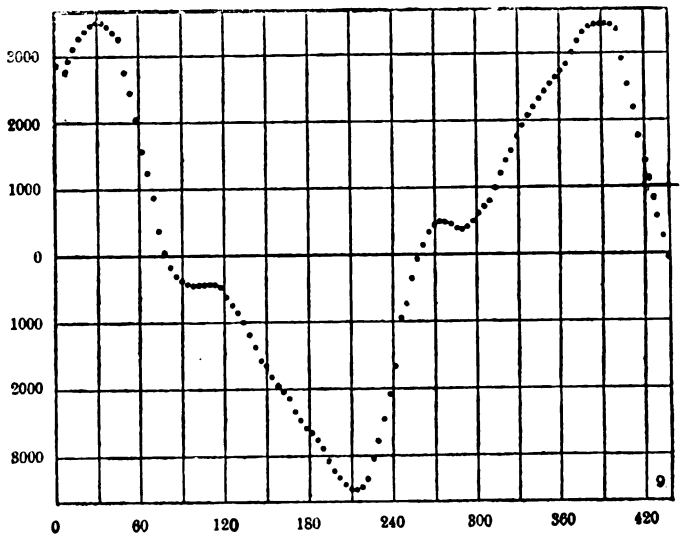


Fig. 9.

courbe de la figure 9. Le courant avait une intensité de 75 ampères. La courbe, escarpée, à sommets aigus présente à mi-hauteur des paliers horizontaux. La valeur efficace de la force électromotrice est de 2.100 volts et le maximum est de près de 3.500 volts. Cette

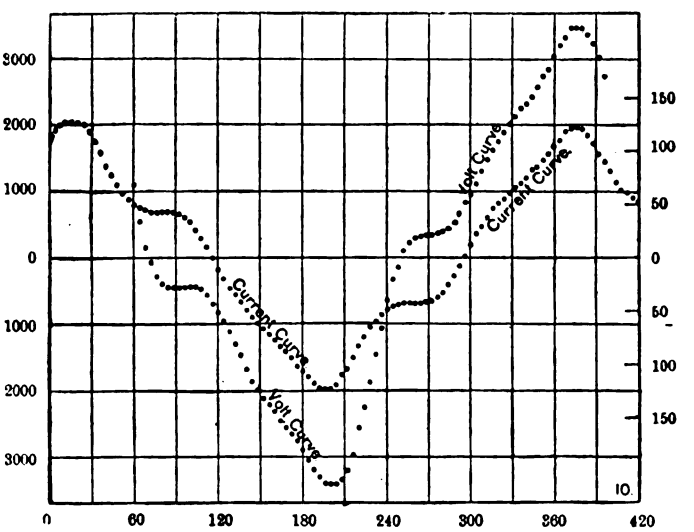


Fig. 10. — Current curve : courbe des ampères. — Volt curve : courbe des volts.

courbe est à comparer avec celle figure 7 donnée par la machine Mordey exactement dans les mêmes conditions.

La figure 10 donne les courbes du courant et de la tension du même alternateur en service de nuit entre 11 heures du soir et 4 heures

Digitized by Google

du matin. Dans ces conditions, la charge est en grande partie inductive, les transformateurs des sous-stations étant peu chargés.

Un point très curieux de ces courbes, c'est qu'en considérant les valeurs nulles, elles présentent entre elles un décalage de phase de 50 degrés, tandis qu'il n'y a pas de décalage entre les maxima.

La forme très accidentée de ces courbes diffère grandement de celle des courbes de l'alternateur Mordey dans les mêmes conditions.

Dans la figure 11, on voit la courbe de la force électromotrice résultant du couplage en parallèle d'un alternateur Thomson-Houston de 350 kilowatts et d'un alternateur Mordey A 20. La forme de la courbe semble indiquer que cette dernière machine joue le rôle prédominant.

Les courbes ci-dessus ont été choisies parmi un grand nombre d'autres obtenues à la station de Bankside et que l'on étudie en ce moment. Elles donnent d'intéressants renseignements

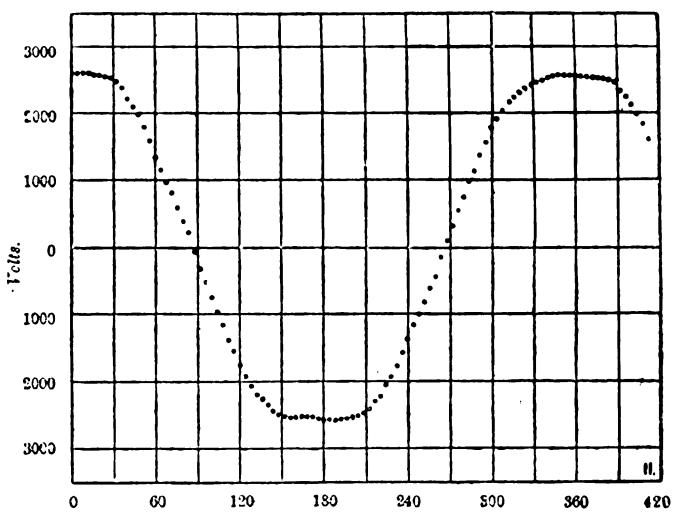


Fig. 11.

sur ce qui se passe dans les différents alternateurs. Parmi d'autres faits, elles ont établi que l'on peut se servir sans crainte de résistances liquides pour des tensions alternatives de 2.000 volts. Dans une suite à ce mémoire, nous discuterons les méthodes qui permettent d'abréger l'opération du traçage des diagrammes d'indicateur des alternateurs.

Actuellement, à cause de la paresse du voltmètre et la durée de la charge du condensateur, l'opération complète pour la détermination d'une courbe prend deux ou trois heures; mais il n'y a pas de raison pour que la durée de l'opération ne puisse être réduite à un quart d'heure et que le procédé ne devienne aussi courant que la prise d'un diagramme d'indicateur sur une machine à vapeur. (*A suivre*).

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Société Internationale des électriciens

6 mars 1895.

M. *Hillairet* expose le mode de traction électrique provisoire qu'il a installé pour desservir l'embranchement minier de Montmartre à la Béraudière, près Saint-Étienne.

Cet embranchement, qui sert au transport journalier de 300 tonnes de charbon, com-

Digitized by Google

prend d'abord une rampe de 5,6 cm. par mètre, longue de 1 kilomètre, dont le service est fait par un plan incliné automoteur; à partir de là commence un tunnel de 380 mètres puis, sur une longueur de 2.600 kilomètres, le fil de la ligne est peu accidenté. Le sol est très peu stable, et des déformations ont obligé à effectuer dans le tunnel un boisage qui a réduit le gabarit au point d'interdire le passage des locomotives à vapeur. La Compagnie du P.-L.-M. a demandé l'installation, dans un délai de six semaines, d'une traction électrique.

Le moteur est fixé sur le châssis robuste d'un wagon à deux essieux, fourni par la Compagnie; le courant est amené par un fil de cuivre, qu'on a pris soin de plonger dans une dissolution de sulfhydrate d'ammoniaque pour lui donner une teinte grise qui masque sa nature et n'excite pas la cupidité des riverains; les prises se font sur un conducteur latéral placé à 22 cm. au-dessus du sol; les aiguillages sont basés sur le principe du « crocodile » employé dans la Compagnie du Nord. La dynamo tourne à 275 tours, actionnée par une vieille machine à vapeur Crampton ; elle peut fournir, pour 360 volts, 40.000 watts; le moteur prend de 60 à 65 ampères en moyenne, 130 ou 135 dans les démarrages rapides. La résistance d'isolement est de 300 à 360 ohms; la perte du courant atteint 1 ampère par temps sec et 2 ou 3 ampères par temps humide. Le moteur agit par des chaînes de Galles modifiées, ayant à peu près la forme des chaînes de bicyclettes, sur chacun des essieux; ces chaînes fournissant un effort égal à $\frac{1}{30^e}$ de la charge de rupture, se desserrent très peu.

Cette installation fonctionne d'une façon satisfaisante depuis quinze mois; il y a de 12 à 15 trains montants et descendants par jour; le poids du wagon a été réduit à 30 tonnes, le poids de la locomotive à 15 tonnes. La durée du service a été réduite de 20 à 25 p. 100; commencé à six heures du matin il est terminé à cinq heures du soir pour un transport de 200 tonnes sur l'embranchement à traction électrique; la quantité de charbon brûlé est très légèrement inférieure à celle qu'employaient les locomotives.

M. de Bovet expose ses essais de traction électrique des bateaux sur les canaux.

La vitesse moyenne des bateaux traînés par des chevaux est inférieure à 2 kilomètres à l'heure; on peut chercher raisonnablement à élever cette vitesse à 3 km. ou 3, 5 km.; il ne faut pas chercher à dépasser cette limite, parce que, dans un canal, la résistance de l'eau croît très vite avec la vitesse.

La nécessité de ne pas ajouter un poids notable empêche l'emploi de moteurs mus par accumulateurs; d'ailleurs il ne faut pas essayer d'établir un système qui augmente la longueur du bateau, déterminée par les écluses. M. de Bovet a essayé une chaîne de touage roulant sur une poulie à adhérence magnétique. Le courant est amené par un fil aérien; la hauteur de ce fil et la nécessité de laisser un jeu latéral au bateau ne permettent de faire la prise de courant que par un chariot relié à un fil souple. La longueur du bateau n'est allongée que par la poulie saillante à l'avant; dans les écluses on peut déplacer cette poulie de façon à utiliser toute la longueur.

Séance du 3 avril 1895.

M. Arnoux présente des ampèremètres et voltmètres industriels. Ces appareils sont basés sur le principe du cadre mobile; l'aimant a la forme circulaire, d'une seule pièce; il est en acier au tungstène. Le cadre est constitué par des couches de fil comprises entre deux anneaux de cuivre; l'intérieur du premier est occupé par une bille d'acier. La plupart de ces appareils sont entièrement apériodiques; pour les plus grands dont le moment d'inertie est considérable, le nombre d'oscillations ne dépasse pas quatre; les cadres sont mobiles sur des pivots. Le plus sensible donne une déviation de toute l'échelle (70° environ) pour un courant de 0,0005 ampère. Des résistances additionnelles permettent de faire varier la sensibilité des appareils, employés comme

Digitized by Google

voltmètres. La graduation a été faite au moyen d'une boîte de *conductances*.

M. Sarcia expose les conditions de la traction électrique par accumulateurs.

Les accumulateurs qui servent aux voitures de la ligne Madeleine-Saint-Denis sont en plomb antimonieux à 10 p. 100 ; la forme de plaques qui a paru la meilleure se rapproche de celle des premiers essais de Faure ; l'oxyde repose à l'intérieur d'échancrures légèrement inclinées, il ne tombe que lorsqu'il est réduit à l'état de poudre assez fine pour que les bulles d'oxygène le soulèvent ; on peut alors régénérer les plaques. La charge se fait à potentiel constant, mais on diminue les inconvénients de la méthode en employant successivement deux potentiels. Le poids de charbon brûlé est 2.465 kg. par voiture kilomètre, (moyenne de 2.000.000 de voitures-kilomètres).

C. R.

Société française de physique.

Séance du 5 avril 1895.

M. Abraham présente, en son nom et en celui de *M. Lemoine* deux électromètres absolus à anneaux de garde.

L'un de ces appareils est destiné à servir d'étalon. Le plateau mobile, en aluminium, est invariablement lié au fléau d'une balance de précision ; c'est par rapport à ce plateau qu'on règle les différentes pièces de l'appareil. L'anneau de garde peut être déplacé par trois vis munies de contre-ressorts qui permettent de réaliser la coïncidence des plans avec la précision que l'on atteint dans les réglages des miroirs de Fresnel. Le plateau inférieur est mû verticalement par une crémaillère à laquelle il est relié par un genou ; pour régler le parallélisme on élève ce plateau et on l'amène en contact avec l'anneau de garde ; le contact s'établit sur toute la surface ; on abaisse alors le plateau.

M. Abraham cite les résultats de quelques mesures exécutées en faisant varier la distance des plateaux. Pour une même différence de potentiel, la précision atteinte est de $\frac{1}{1000}$. Les pesées sont rendues très précises par le fait que l'équilibre est instable en général ; on peut d'ailleurs le rendre stable en chargeant d'avance la balance. Cet appareil peut mesurer jusqu'à 40.000 volts.

Le second appareil, beaucoup plus robuste, permet de mesurer jusqu'à 100.000 volts au $\frac{1}{100}$ près. Les parties mobiles sont les mêmes que dans l'électromètre absolu de lord Kelvin ; la balance est une balance de Roberval de 400 grammes.

M. Weiss présente un galvanomètre extrêmement sensible. Au lieu d'utiliser des barreaux très courts qu'il est difficile d'aimanter, et qui exercent les uns sur les autres une action démagnétisante énergique, M. Weiss réalise un système astatique au moyen de deux aimants *verticaux* portés par une petite lame de mica. Un tel système est toujours astatique, quelle que soit l'intensité d'aimantation de chacun des aimants. De plus, les barreaux qui sont longs par rapport à leur distance, forment un circuit magnétique presque parfait et leur aimantation se conserve. Les groupes de pôles de chacun des deux aimants arrivent à la hauteur du centre de deux couples de bobines, comme dans le galvanomètre de lord Kelvin. Les bobines sont simplement cylindriques avec du fil d'un seul diamètre. En réduisant les dimensions de l'appareil et en lui donnant des proportions convenables, on arrive ainsi à obtenir un galvanomètre d'une construction très simple et qui dépasse en sensibilité tous les appareils construits jusqu'ici.

C. R.

Sur la tension de la vapeur saturée dans un champ électrique, par M. A. Sokolow (1).

L'auteur donne deux démonstrations nouvelles de la relation qui existe entre la tension

(1) *Journal de Physique*, [3], t. IV, pp. 53-62 ; Février 1895.

Digitized by Google

d'une vapeur saturée et l'intensité du champ électrique où elle est placée.

La première démonstration repose sur la propriété suivante des transformations réversibles isothermiques :

Soit un système de corps qui subit une transformation infiniment petite réversible, à température constante ; alors le travail extérieur accompli par le système est une différentielle exacte d'une fonction, laquelle, d'après von Helmholtz, n'est autre chose que l'énergie libre du système, changée de signe.

Pour appliquer cette propriété à la détermination cherchée, considérons, avec l'auteur, un condensateur plan dont les armatures possèdent des charges + E et — E et présentent une différence de potentiel x. Soit v le volume compris entre ces armatures, dont une portion v_1 est occupée par le liquide et dont l'autre portion v_2 est occupée par la vapeur saturée qui a une tension p. Imaginons que l'espace occupé par la vapeur est en communication avec un récipient de volume w, ce volume pouvant être varié à volonté par le déplacement d'un piston.

Si nous augmentons w de dw et si nous augmentons la charge des armatures de dE, en maintenant la température constante, le travail extérieur produit par le système est

$$p\,dw - x\,d\mathrm{E}.$$

D'après la propriété précédemment énoncée, cette quantité est une différentielle exacte ; par suite

$$\frac{\partial p}{\partial \mathrm{E}} = -\frac{\partial x}{\partial w}.$$

Introduisons l'énergie électrique $\mathrm{W} = \mathrm{E}x$ du condensateur considéré ; on a $d\mathrm{W} = x\,d\mathrm{E}$, et par conséquent

$$\frac{\partial p}{\partial \mathrm{E}} = -\frac{\partial^2 \mathrm{W}}{\partial w\,\partial \mathrm{E}},$$

ou bien

$$\frac{\partial}{\partial \mathrm{E}}\left(p + \frac{\partial \mathrm{W}}{\partial w}\right) = 0,$$

ce qui donne

$$p = p_0 - \frac{\partial \mathrm{W}}{\partial w}, \qquad (1)$$

p_0 étant nécessairement la tension maxima de la vapeur dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire lorsqu'elle n'est pas soumise à l'action d'un champ électrique. Cette relation (1) est la relation cherchée.

Le terme $-\frac{d\mathrm{W}}{dw}$ représente évidemment le travail accompli par les forces pondéromotrices électriques pendant le déplacement du piston. Comme à l'intérieur des condensateurs tout reste immobile pendant ce déplacement, sauf la surface de contact du liquide et de sa vapeur, il faut donc qu'il existe une pression électrique P sur cette surface. La valeur de cette pression est déterminée par l'équation

$$\mathrm{P}\,dv_1 = -\frac{\partial \mathrm{W}}{\partial w}\,dw,$$

qui donne

$$\mathrm{P} = -\frac{\partial \mathrm{W}}{\partial v}\,\frac{\partial v}{\partial v_1}. \qquad (2)$$

Quant à sa direction, elle est nécessairement normale à la surface du contact, car autrement l'équilibre du système ne serait pas possible ; en outre, il est facile de voir qu'elle est dirigée vers le liquide ou vers la vapeur suivant que $\frac{d\mathrm{W}}{dw}$ est positif ou négatif.

Les formules (1) et (2) permettront donc de calculer la tension de la vapeur et la pression sur la surface de contact quand les conditions admises pour les établir seront remplies, conditions qui sont : 1° le système est en équilibre parfait ; 2° son état est complètement déterminé par les deux variables v et E. Elles sont certainement remplies dans les deux cas suivants : 1° lorsque la surface de séparation est parallèle aux armatures, et 2° lorsqu'elle leur est perpendiculaire. L'auteur examine successivement ces deux cas.

Dans le premier, il est facile de voir que

$$\mathrm{W} = \frac{2\pi}{a^2}\,\mathrm{E}^2\left(\frac{v_1}{k_1} - \frac{v_2}{k_2}\right),$$

a étant la surface d'une armature, k_1 le pouvoir inducteur spécifique du liquide et k_2 celui de la vapeur. En dérivant par rapport à w,

Digitized by Google

on introduira les dérivées de v_1 et de v_2 par rapport à cette quantité. Or, on a

$$v_1 + v_2 = \text{const.},$$

et d'autre part, exprimant que la masse du liquide et de sa vapeur est constante,

$$\frac{v_1}{\sigma} + \frac{v_2 + w}{s} = \text{const.},$$

σ étant le volume spécifique du liquide, et s celui de la vapeur. On en déduit

$$dv_1 + dv_2 = o, \qquad \frac{dv_1}{\sigma} + \frac{dv_2 + dw}{s} = o,$$

et par suite,

$$-\frac{\partial v_1}{\partial w} = \frac{\partial v_2}{\partial w} = \frac{\sigma}{s - \sigma}.$$

En tenant compte de ces relations, la relation (1) donne pour la tension de la vapeur

$$p = p_0 - \frac{2\pi}{a^2} E^2 \left(\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2}\right) \frac{\sigma}{s - \sigma},$$

et la relation (2) donne pour la pression sur la surface de contact

$$P = -\frac{2\pi}{a^2} E^2 \left(\frac{1}{k_2} - \frac{1}{k_1}\right);$$

en tenant compte de cette dernière égalité, la précédente peut s'écrire

$$p = p_0 + P \frac{\sigma}{s - \sigma}.$$

Dans le cas où la surface de séparation du liquide et de sa vapeur est perpendiculaire aux armatures, on a

$$W = 2\pi\delta^2 \frac{E^2}{k_1 v_1 + k_2 v_2},$$

et si l'on désigne par

$$R = 4\pi\delta \frac{E}{k_1 v_1 + k_2 v_2}$$

l'intensité constante du champ à l'intérieur du condensateur, il vient

$$p = p_0 - \frac{R^2}{8\pi}(k_1 - k_2) \frac{\sigma}{s - \sigma},$$

$$P = -\frac{R^2}{8\pi}(k_1 - k_2),$$

$$p = p_0 + P \frac{\sigma}{s - \sigma}.$$

Remarquons que la propriété des transformations isothermiques énoncée au début peut encore être énoncée : pour tout cycle fermé, qui consiste en transformations réversibles et isothermiques, la somme des travaux extérieurs du système est nulle. Ce nouvel énoncé fournit à l'auteur sa seconde démonstration des formules précédentes. Pour cette démonstration, nous renvoyons le lecteur au mémoire original.

J. B.

Sur les actions mécaniques d'origine électromagnétique, par M. Max Weber (1)

Un corps magnétique placé dans un champ est soumis à une force dirigée suivant le champ. Outre cette force qu'on considère seule d'ordinaire, il en existe une autre qui lui est perpendiculaire. La seconde composante est notablement plus faible que la première pour les corps fortement magnétiques ; l'inverse a lieu pour les corps diamagnétiques. Pour les liquides les expériences de Quincke ont donné des valeurs égales dans les deux directions. MM. Shelford Bidwell et Bosanquet ont mesuré la traction dans le sens des lignes de force par la force portante des aimants, mais sans déterminer autrement la susceptibilité du fer employé. M. Quincke a fait quelques mesures mais dans des champs intenses pour lesquels l'aimantation reste constante. M. Adler (2) a discuté ces résultats.

L'auteur a déterminé les deux composantes de la force pour une série de valeurs du champ ; il a vérifié aussi que la valeur de l'aimantation déduite de la force attractive, coïncide avec celle que fournit le magnétomètre.

La disposition employée est, dans ses traits essentiels, celle de M. Paul Meyer (3).

Le fil à étudier CC′, placé à l'intérieur d'un tube de verre, est suspendu par deux fils ABC, A′B′C′; les fils sont fixés en B,B′ et viennent

---

(1) *Wiedemann's Annalen*, t. LIV, p. 30, 1895.
(2) G. Adler. *Wiener Berichte*, t. C. p. 911, 1891.
(3) P. Meyer. *Dissert.* — *Heidelberg*. 1889 et *Electrotechn. Zeits.* X. p. 582-587 (1889).

Digitized by Google

en A, A' s'enrouler sur des vis. En D,D' sont des ailettes de mica plongeant dans l'eau. En C,C' sont des masses de plomb destinées à donner au déplacement longitudinal une amplitude suffisante. Le fil a 89,9 cm. de long et 0,0898 cm. de diamètre ; une de ses extrémités pénètre à l'intérieur d'une bobine, dans la direction de l'axe ; quand le courant passe, le fil est attiré par une force dont la valeur est : $P\frac{s}{l}$, P étant le poids de l'équipage, l la hauteur verticale de la suspension, s la quantité dont

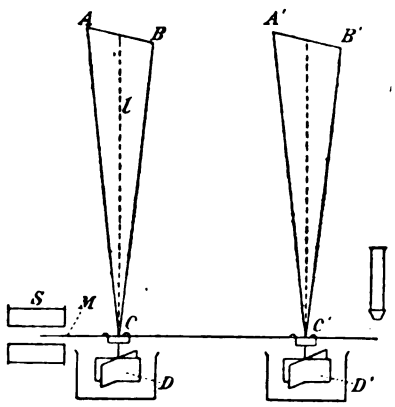


Fig. 1.

se déplace horizontalement le fil. On déplace également la bobine de telle façon qu'un point M, marqué sur le fil, vienne toujours sur l'une de ses bases. Les déplacements sont lus à l'aide d'un microscope qui permet d'évaluer, par un micromètre oculaire, le 1/10 de millimètre.

Dans des champs inférieurs à 100 C.G.S., on a employé une bobine de 42,5 cm. de long, sur 5 cm. de diamètre intérieur, portant deux couches de 149 tours de fil de 2,3 mm. Le champ pour un ampère est 8,810. Le fil est soumis à un cycle d'aimantation complet (entre + 74 à — 74). L'un des pôles de l'aimant est amené constamment au centre de la bobine ; la force p qu'exerce sur lui la bobine, ramenée à l'unité de section, est III, en désignant par I l'aimantation. Le mémoire contient un tableau numérique donnant les valeurs observées de p et de H et les valeurs de I calculées par cette formule.

M. Adler a donné pour p une autre formule

$$p = H_1 I_1 - \int_0^{I_1} \frac{I\,dI}{\varkappa},$$

et propose d'évaluer l'intégrale en utilisant une relation entre I et $\varkappa$; mais cette intégrale peut s'écrire $\int_0^{I_1} H\,dI$; on a donc en intégrant par parties

$$p = H_1 I_1 - \left(H_1 I_1 - \int_0^{H_1} I\,dH\right) = \int_0^{H_1} I\,dH.$$

A partir d'une valeur assez faible de H, I reste sensiblement constant ; on a donc à peu près

$$p = IH.$$

D'après Maxwell, on aurait

$$p = \frac{1}{4\pi} BH - \frac{1}{8\pi} H^2 = \left(\varkappa' + \frac{1}{8\pi}\right) H^2,$$

ce qui se réduit à l'expression précédente.

L'auteur a déterminé directement les valeurs de I en fonction de H par le magnétomètre ; la courbe qui représente les valeurs obtenues est à l'intérieur de celle que fournissent les valeurs calculées précédemment, c'est-à-dire que l'hystérésis est notablement plus faible. Ceci s'explique suffisamment, d'après l'auteur, par le fait que dans cette seconde série d'expériences le barreau n'était plus supporté par des fils et se trouvait par conséquent soumis plus directement aux ébranlements extérieurs. La conclusion est que la formule $p = III = \varkappa H^3$ représente bien les phénomènes. Dans d'autres expériences on a fait varier le champ entre + 460 et — 460 unités.

M. Weber a aussi étudié les forces qui s'exercent perpendiculairement à la direction du champ ; il se servait de deux bobines égales, dont les axes verticaux coïncidaient et entre lesquelles arrivait l'extrémité du fil à étudier. De cette seconde série d'expériences effectuées dans des conditions beaucoup moins favorables que les précédentes, nous ne retiendrons que

Digitized by Google

la conclusion : la force perpendiculaire au champ est plus grande que la force parallèle. Le rapport décroît lorsque le champ augmente (de 134 pour H = 100, à 39,3 pour H = 350). De quelques autres expériences l'auteur déduit 2,40 pour H = 4.000 et 1,11 pour H = 12.000. Ces nombres ne sont donnés qu'à titre d'indication.

C. R.

BIBLIOGRAPHIE

Dictionnaire d'électricité, par Julien LEFÈVRE, docteur ès sciences physiques, professeur à l'École des sciences de Nantes; 1 vol. gr. in-8 à 2 col. de 1150 pages environ, avec 1250 figures. — (*J.-B. Baillière et fils*, éditeurs, 19, rue Hautefeuille, Paris.)

La rapidité avec laquelle a été enlevée la première édition de cet ouvrage nous dispense d'en faire l'éloge. A ce point de vue, nous ne pouvons mieux faire d'ailleurs que d'extraire les quelques phrases qui suivent de l'Introduction de l'ouvrage, écrite par M. Bouty.

« Pour faire un bon dictionnaire d'électricité, il ne suffit pas d'être un *électricien :* il faut avant tout faire œuvre de professeur et savoir trouver dans chaque article la matière d'une petite monographie, claire, concise et le plus possible indépendante des autres. Plus certains sujets seront traités d'une manière élémentaire, plus il deviendra indispensable que l'auteur en possède à fond les théories les plus élevées, sous peine d'être inexact en voulant rester bref, ou confus en voulant être complet, M. J. Lefèvre, ancien élève de l'École normale, agrégé de l'Université, professeur au lycée et à l'École des sciences de Nantes, bien connu de ses maîtres comme un chercheur consciencieux et un professeur intelligent, offrait à cet égard des garanties sérieuses, et se trouvait désigné, d'autre part, par son habitude de l'enseignement technique. Je crois pouvoir affirmer qu'il a réussi. »

En tête de cette seconde édition, M. Lefèvre a résumé en quelques pages les progrès de l'électricité dans ces quatre dernières années.

Dans le domaine théorique, nous trouvons les expériences de Hertz, celles de M. Tesla, les recherches sur les courants polyphasés, les expériences de M. Moissan et de M. Violle avec le four électrique.

Au point de vue industriel proprement dit, l'auteur s'étend surtout sur les applications mises à l'ordre du jour par les récentes Expositions de Chicago et de Lyon. Nous signalerons particulièrement une revue sommaire de la traction électrique, ainsi que la description des installations faites en Amérique et à Lyon pour le transport de l'énergie.

Quant au dictionnaire lui-même, il est tenu au courant des plus récents progrès de l'électricité, et sa place est marquée aussi bien dans la bibliothèque du savant que dans celle de l'industriel.

Souhaitons donc que cette seconde édition, à peine née (12 fascicules seulement sur 40 environ étant publiés), ait la vie aussi courte que la précédente.

J. BLONDIN,

CHRONIQUE

La recherche des poisons minéraux à l'aide de l'électrolyse. — Les progrès effectués dans les méthodes électrolytiques ont permis d'appliquer ces méthodes à la recherche des quantités de matière beaucoup plus petites que ne permettent de les déceler les réactifs chimiques. D'après le Dr Kohn, de Liverpool, l'électrolyse est surtout utile dans la recherche médico-légale des poisons métalliques. Dans le cas de l'antimoine, du cuivre, du mercure et du cadmium, le procédé électrolytique permet d'en trouver la présence quand il n'en existe qu'une partie dans 150.000 parties de solution, et l'opération n'est en rien gênée par la présence de matières organiques.

Carte magnétique de la France. — La carte magnétique de France date de 1883, mais depuis 1888,

Digitized by Google

elle est l'objet d'une revision minutieuse, et elle a été publiée en 1895 dans l'annuaire du Bureau des Longitudes. Ce travail, qui représente d'une manière aussi fidèle que possible la distribution des éléments magnétiques en France, est dû à MM. Mascart et Moureaux; des observations directes, au nombre de plus de 900, ont été faites dans les chefs-lieux de département et d'arrondissement, dans les ports et sur certains points intéressants indiqués par l'étude de la carte géologique. La nouvelle carte magnétique fera ressortir une particularité très curieuse. Les lignes *isogones*, au lieu de se présenter sous forme de courbes régulières, comme nous étions habitués à les voir jusqu'ici, sont, au contraire, infléchies autour d'une direction générale.

Ainsi la courbe d'égale déclinaison de 16°, se départit de sa direction normale vers Amiens, s'infléchit vers Beauvais, puis se replie sur elle-même, passe près d'Evreux et reprend enfin une direction normale vers Vendôme.

L'intérêt scientifique de ces nouvelles recherches et de leur reproduction sur une carte est indéniable; les géomètres, qui font des levés à la boussole, sont exposés, sans s'en douter, à des erreurs d'observations qui dépassent de beaucoup celles dont leurs instruments sont susceptibles.

Consommation de combustible des stations centrales. — Le comité de statistique de l'Electric Light association, récemment réuni à Cleveland, a publié un tableau contenant les chiffres obtenus dans 23 stations centrales. Le plus grand rendement obtenu est de 578 watts-heures par kilogramme de charbon; il se rapporte à une station fournissant près 23.000 kilowatts-heures par jour. Les chaudières sont multitubulaires, les machines à vapeur à triple expansion, et les dynamos calées sur l'arbre des moteurs.

Pour dix usines, la moyenne du rendement est de 326 watts-heures par kilogramme de charbon, soit une consommation de 2,26 kg. de charbon par cheval-heure.

Les accidents causés par la foudre vont en augmentant régulièrement un peu partout. Nous avons eu déjà l'occasion de donner quelques statistiques à ce sujet.

Voici, sur ce point, de nouveaux chiffres. Il s'agit de l'Italie, qui, en dix ans, de 1882 à 1891, aurait enregistré 1.695 décès par fulguration. C'est l'année 1887 qui tient la tête de la série, avec 260 cas.

Depuis le début de l'année courante on a d'ailleurs signalé un nombre de coups de foudre tout à fait anormal pour la saison. Nous en avons enregistré quelques-uns; voici encore un cas bien curieux. A Marseille, on signale l'accident, heureusement peu grave, arrivé à un habitant de l'avenue d'Arne. Au moment où il franchissait le seuil de sa maison, il reçut une forte commotion électrique et demeura ébloui par un formidable éclair. Longtemps après avoir ressenti le choc il conserva devant les yeux l'impression d'une lumière vacillante. Il avait reçu le choc à la tête, mais en y portant les mains il constata que la foudre avait enlevé la partie supérieure de son couvre-chef, ouvrant ainsi dans la coiffe un cercle à peine frangé, tandis que la doublure blanche avait été à peine roussie. La partie du feutre arrachée est d'ailleurs restée introuvable.

Le fait est assez curieux pour que nous le signalions.

La métallurgie du cuivre en Hongrie. — Depuis plusieurs années, une crise violente sévit en Hongrie sur l'industrie métallurgique du cuivre : elle est due à la mise en exploitation de nombreuses mines à l'étranger et à l'abaissement des tarifs. Les usines de Waldbulgerschaft ont abandonné les anciens procédés de fabrication, trop coûteux, et adopté la méthode électrolytique pour le raffinage du cuivre.

Le cuivre noir est comprimé sous forme de plaques, et chaque couple comprend deux anodes de cuivre noir et une cathode de cuivre pur. L'électrolyte est une solution de sulfate de cuivre préparée en dissolvant à chaud de la grenaille de cuivre dans l'acide sulfurique.

Sous l'action du courant, le métal des anodes se dépose sur la cathode, tandis que le plomb, l'or, l'argent, l'antimoine et l'arsenic, que l'on rencontre toujours dans le minerai, tombent au fond des cuves sous forme d'une boue. Les batteries sont disposées en gradins, et une pompe entretient une circulation continue du bain.

Le courant est produit par une dynamo de 24 volts et 240 ampères, et la production atteint 328 kg. de cuivre pur par jour.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Digitized by Google

Tome III. Samedi 13 Avril 1895. 2e Année. — N° 15.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

SUR
LES COURANTS DE FOUCAULT

La distribution des courants induits dans les conducteurs à trois dimensions a été peu étudiée jusqu'ici au point de vue expérimental. Les beaux travaux de Maxwell, de Kirchhoff et de von Helmholtz nous ont donné les équations générales qui conviennent à ce cas; mais ces équations n'ont guère reçu d'applications, surtout pour la classe des courants induits par variation d'intensité du champ inducteur. Je me propose, dans cet article, de montrer, par l'étude d'un cas particulier important, comment il convient d'aborder la question. J'examinerai le cas d'un solénoïde rectiligne indéfini, de rayon R, comprenant n spires par centimètre et muni d'un noyau conducteur non magnétique de même rayon et de conductibilité c; je supposerai que l'intensité I du courant inducteur est une fonction donnée du temps, et je commencerai par déterminer l'intensité spécifique i du courant induit en chaque point du cylindre central. Soit r la distance d'un point à l'axe; i n'est évidemment fonction que de r et de t. Ces courants induits ne sont abordables à l'expérience qu'indirectement, et, semble-t-il, de deux manières seulement : soit par leur réaction sur l'inducteur, soit par la chaleur dégagée dans le cylindre; j'examinerai successivement ces deux points, et je dirigerai les calculs de manière à obtenir des expressions susceptibles de vérifications expérimentales.

I. LEMMES PRÉLIMINAIRES.

M. Hertz a signalé, il y a quelques années, une corrélation remarquable entre la force électromotrice due à la variation d'un flux magnétique (courant magnétique) et la force magnétique due à un courant électrique (1). M. Vaschy (2) et M. Blondlot (3) ont énoncé de leur côté deux lois à peu près équivalentes qui dérivent des mêmes idées. Je me propose d'abord de donner à ces résultats, en les généralisant un peu, une forme commode pour les applications que j'ai en vue.

Soient u, v, w les composantes du courant; a, b, c celles de l'induction magnétique; α, β, γ celles de la force magnétique; F, G, H celles du potentiel vecteur. On a

$$(1)\qquad \begin{cases} 4\pi u = \dfrac{\partial \beta}{\partial z} - \dfrac{\partial \gamma}{\partial y}, \\ 4\pi v = \dfrac{\partial \gamma}{\partial x} - \dfrac{\partial \alpha}{\partial z}, \\ 4\pi w = \dfrac{\partial \alpha}{\partial y} - \dfrac{\partial \beta}{\partial x}; \end{cases}$$

(1) *Wied. Ann.*, t. XXIII, p. 84.
(2) *Comptes rendus*, t. CIV, p. 1609.
(3) *Journal de Physique*, 2e série, t. IX, p. 177.

Digitized by Google

$$(2)\qquad \begin{cases} a = \dfrac{\partial G}{\partial z} - \dfrac{\partial H}{\partial y}, \\ b = \dfrac{\partial H}{\partial x} - \dfrac{\partial F}{\partial z}, \\ c = \dfrac{\partial F}{\partial y} - \dfrac{\partial G}{\partial x}. \end{cases}$$

Ces relations sont absolument générales et vérifiées dans tout l'espace, y compris l'intérieur des conducteurs, magnétiques ou non. Proposons-nous de trouver en un point les composantes F, G, H du potentiel vecteur. Pour cela, imaginons un système de courants *fictifs* u_1, v_1, w_1 définis par les équations

$$(3)\qquad \begin{cases} 4\pi u_1 = \dfrac{a}{\lambda}, \\ 4\pi v_1 = \dfrac{b}{\lambda}, \\ 4\pi w_1 = \dfrac{c}{\lambda}, \end{cases}$$

λ étant une longueur arbitraire introduite uniquement pour conserver l'homogénéité des formules. Ce système est toujours possible ; en effet, puisque l'électricité se comporte comme un fluide incompressible, la seule condition pour qu'un système de vecteurs puisse représenter un système de courants est que ce système de vecteurs satisfasse à la loi de la conservation des flux. Or l'induction magnétique jouit de cette propriété ; et nous avons montré ailleurs (1) que cette loi est absolument générale.

Cela posé, les équations (2) et (3) donnent

$$(4)\qquad \begin{cases} 4\pi u_1 \lambda = \dfrac{\partial G}{\partial z} - \dfrac{\partial H}{\partial y}, \\ 4\pi v_1 \lambda = \dfrac{\partial H}{\partial x} - \dfrac{\partial F}{\partial z}, \\ 4\pi w_1 \lambda = \dfrac{\partial F}{\partial y} - \dfrac{\partial G}{\partial x}. \end{cases}$$

Soient α_1, β_1, γ_1 les composantes de la force magnétique due au système fictif (3) ; on a

$$(5)\qquad \begin{cases} 4\pi u_1 = \dfrac{\partial \beta_1}{\partial z} - \dfrac{\partial \gamma_1}{\partial y}, \\ 4\pi v_1 = \dfrac{\partial \gamma_1}{\partial x} - \dfrac{\partial \alpha_1}{\partial z}, \\ 4\pi w_1 = \dfrac{\partial \alpha_1}{\partial y} - \dfrac{\partial \beta_1}{\partial x}. \end{cases}$$

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1890.

La comparaison de (4) et (5) donne facilement

$$(6\qquad \begin{cases} \dfrac{F}{\lambda} = \alpha_1 + \dfrac{\partial \varphi}{\partial x}, \\ \dfrac{G}{\lambda} = \beta_1 + \dfrac{\partial \varphi}{\partial y}, \\ \dfrac{H}{\lambda} = \gamma_1 + \dfrac{\partial \varphi}{\partial z}, \end{cases}$$

φ étant une fonction arbitraire de x, y, z (1). Or on sait que, en général, les composantes du potentiel vecteur ne sont connues qu'aux dérivées partielles près d'une même fonction des coordonnées. Cette fonction ne jouant aucun rôle dans toutes les intégrations relatives à des courbes fermées, nous la négligerons et nous aurons

$$\begin{cases} \dfrac{F}{\lambda} = \alpha_1, \\ \dfrac{G}{\lambda} = \beta_1, \\ \dfrac{H}{\lambda} = \gamma_1, \end{cases}$$

Donc : *Le potentiel vecteur en un point dû à un système de courants quelconques est égal en grandeur et en direction à la force magnétique qu'exercerait en ce point un système de courants fictifs dont l'intensité serait numériquement égale* $\left(au\ facteur\ \frac{1}{4\pi}\ près\right)$ *à l'induction magnétique du système donné.*

Il est aisé de voir que cette loi absolument générale comprend comme cas particulier les lois de MM. Vaschy et Blondlot.

(1) Il est facile de montrer que la fonction φ est une fonction uniforme des coordonnées : en effet, en multipliant les équations (6) par dx, dy, dz, ajoutant et intégrant le long d'un contour quelconque, on obtient

$$\frac{1}{\lambda}\int F\,dx + G\,dy + H\,dz = \int \alpha_1\,dx + \beta_1\,dy + \gamma_1\,dz + \int d\varphi.$$

Or on a

$$\int F\,dx + G\,dy + H\,dz = \lambda \int \alpha_1\,dx + \beta_1\,dy + \gamma_1\,dz,$$

car chacune de ces quantités représente le flux d'induction à travers le contour S [la seconde en vertu des équations (5) et (3)]. Donc

$$\int d\varphi = 0.$$

Digitized by Google

II. LE POTENTIEL VECTEUR EN UN POINT DU CYLINDRE CONDUCTEUR.

Nous calculerons d'abord le potentiel vecteur dû à un solénoïde rectiligne indéfini : 1° en un point intérieur; 2° en un point extérieur.

Soient I l'intensité du courant qui circule dans le solénoïde, n le nombre des spires par unité de longueur. Prenons pour origine un point situé sur l'axe, pour axe des z l'axe vers la gauche du courant; pour axes des x et des y deux perpendiculaires disposées par rapport à Oz dans l'ordre habituel. On a ici, pour tous les points intérieurs au solénoïde,

$$a = 0,$$
$$b = 0,$$
$$c = 4\pi n I$$

et, pour tous les points extérieurs,

$$a = b = c = 0.$$

Il en résulte que le système de courants fictifs prévus par la loi générale que nous avons indiquée plus haut est simplement un courant homogène, de densité $\frac{4\pi n I}{4\pi\lambda} = \frac{nI}{\lambda}$, qui circulerait parallèlement à l'axe dans un cylindre remplissant le solénoïde.

1° En un point intérieur, la force magnétique a pour composantes

$$\alpha_i = -\frac{2\pi n I y}{\lambda},$$
$$\beta_i = -\frac{2\pi n I x}{\lambda},$$
$$\gamma_i = 0.$$

Il en résulte qu'en un point intérieur à un solénoïde infini le potentiel vecteur a pour composantes

$$(7)\qquad \begin{cases} F_i = 2\pi n I y, \\ G_i = -2\pi n I x, \\ H_i = 0. \end{cases}$$

2° En un point extérieur, à la distance r de l'axe, la force magnétique (à la constante près λ) et, par suite, le potentiel vecteur ont pour composantes

$$(8)\qquad \begin{cases} F_e = 2\pi n I R^2 \frac{y}{r^2}, \\ G_e = -2\pi n I R^2 \frac{x}{r^2}, \\ H_e = 0. \end{cases}$$

Posons $nI = q$. Alors q représente la quantité d'électricité qui traverse normalement, pendant l'unité de temps, l'unité de longueur prise sur une génératrice du solénoïde. Les formules (7) et (8) deviennent

$$(9)\qquad \begin{cases} F_i = 2\pi q y, \\ G_i = -2\pi q x, \\ H_i = 0, \end{cases}$$

$$(10)\qquad \begin{cases} F_e = 2\pi R^2 q \frac{y}{r^2}, \\ G_e = -2\pi R^2 q \frac{x}{r^2}, \\ H_e = 0, \end{cases}$$

et le potentiel vecteur lui-même a pour valeur

$$(11)\qquad A_i = 2\pi q r, \qquad A_e = \frac{2\pi q R^2}{r}.$$

Cela posé, considérons au temps t le cylindre parcouru par les courants de Foucault, et soit i l'intensité spécifique du courant en un point situé à une distance r de l'axe; i n'est évidemment fonction que de r et de t.

Le potentiel vecteur A, en ce point, est la somme du potentiel vecteur dû au solénoïde donné $2\pi n I r$ et du potentiel vecteur A_1 dû aux courants de Foucault

$$A = 2\pi n I r + A_1,$$

ces deux vecteurs étant dirigés suivant la tangente à la circonférence qui passe par le point donné et qui a son centre sur l'axe. Calculons A_1.

Une couche de rayon ρ, d'épaisseur $d\rho$, peut être assimilée à un solénoïde pour lequel la quantité q définie plus haut aurait la valeur

$$q = i\,d\rho.$$

On a donc, en appliquant les formules (11),

$$A_1 = \frac{2\pi}{r}\int_0^r i\rho^2 d\rho + 2\pi r \int_r^R i\,d\rho$$

Digitized by Google

d'où

$$(12) \qquad A = 2\pi n l r + \frac{2\pi}{r}\int_0^r i\rho^2 d\rho + 2\pi r \int_r^R i d\rho.$$

Telle est la valeur au temps t du potentiel vecteur en un point quelconque du cylindre parcouru par les courants de Foucault. La fonction i reste encore inconnue. C'est elle que nous allons calculer maintenant.

III. L'INTENSITÉ SPÉCIFIQUE DU COURANT EN UN POINT DU CYLINDRE CONDUCTEUR.

L'intensité spécifique i est liée au potentiel vecteur (en l'absence de toute force électromotrice étrangère à celle de l'induction) par l'équation vectorielle

$$i = -c\frac{\partial A}{\partial t}.$$

Remplaçons A par sa valeur (12); il vient

$$(13) \qquad n\frac{dl}{dt} + \frac{1}{r^2}\int_0^r \rho^2 \frac{\partial i}{\partial t} d\rho + \int_r^R \frac{\partial i}{\partial t} d\rho = -\frac{i}{2\pi c r}.$$

Cette équation, différentiée par rapport à r, donne

$$(14) \qquad \int_0^r \rho^2 \frac{\partial i}{\partial t} d\rho = \frac{r^2}{4\pi c}\left(\frac{\partial i}{\partial r} - \frac{i}{r}\right).$$

Une seconde différentiation donne

$$(15) \qquad \frac{\partial^2 i}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial i}{\partial r} - \frac{i}{r^2} = 4\pi c \frac{\partial i}{\partial t}.$$

Telle est l'équation aux dérivées partielles du deuxième ordre à laquelle satisfait la fonction cherchée i (1). Pour définir complètement cette fonction, il faudra de plus tenir compte des conditions limites contenues dans l'équation (13). Faisons, dans cette équation, $r = R$: il vient, en tenant compte de (14) :

$$(13\ bis) \qquad 4\pi c n \frac{dl}{dt} + \left(\frac{\partial i}{\partial r} + \frac{i}{r}\right)_{r=R} = 0.$$

Nous pouvons simplifier l'équation (15) en posant $ir = \varphi$. Elle devient

$$(16) \qquad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} - \frac{1}{r}\frac{\partial \varphi}{\partial r} - C\frac{\partial \varphi}{\partial t} = 0$$

avec

$$4\pi c = C.$$

(1) L'équation aux dérivées partielles (15) pourrait s'obtenir d'une autre manière, qui semble plus simple, au premier abord, en remarquant avec Maxwell que l'une quelconque des composantes F du potentiel vecteur satisfait à l'équation

$$\Delta F = 4\pi c \frac{\partial F}{\partial t}$$

ou

$$(a) \qquad \Delta u = 4\pi c \frac{\partial u}{\partial t},$$

en remarquant que

$$u = -\frac{\partial F}{\partial t}.$$

On a

$$u = i\frac{y}{r}.$$

En remplaçant u par sa valeur dans l'équation (a), on retombe sur l'équation (15) du texte.

Mais cette marche, qui paraît plus rapide, ne présente pas d'avantages sur celle que nous avons suivie, car elle ne nous donne pas les conditions aux limites renfermées dans les équations (13) et (14) qu'il faudrait toujours obtenir d'une manière ou d'une autre.

Posons

$$\theta = \frac{i}{r} + \frac{\partial i}{\partial r}.$$

L'équation (15) devient

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \theta}{\partial r} = 4\pi c \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

ou

$$(b) \qquad \Delta\theta = 4\pi c \frac{\partial \theta}{\partial t} = C\frac{\partial \theta}{\partial t}.$$

Ainsi la quantité θ satisfait comme les composantes du potentiel vecteur à l'équation fondamentale de la conductibilité de la chaleur. Les équations (13) et (14) donnent facilement

$$(c) \qquad \theta_{r=R} = -Cn\frac{dl}{dt}.$$

Le problème revient donc à déterminer une fonction θ qui satisfait à l'équation (c) et qui est, à la surface du cylindre, une fonction donnée du temps, autrement dit à trouver la température de chaque point d'un cylindre dont la surface est portée à une température fonction donnée du temps. Ainsi apparaît une fois de plus l'analogie signalée par Maxwell entre la diffusion de la chaleur et la propagation des perturbations électriques dans les conducteurs. Mais ici, c'est la quantité $\frac{\partial i}{\partial r} + \frac{i}{r}$ qui représente l'analogue de la température. Il resterait à trouver la raison physique de cette analogie.

Digitized by Google

Pour intégrer l'équation (16), je poserai

$$\varphi = A_0 + A_1 r + A_2 r^2 + \ldots, \tag{17}$$

A_0, A_1,... étant des fonctions inconnues du temps.

On en tire

$$i = \frac{\varphi}{r} = \frac{A_0}{r} + A_1 + A_2 r + \ldots. \tag{18}$$

L'équation (14) va nous permettre tout d'abord de démontrer que la quantité A_0 est nulle. Formons en effet la quantité

$$U = r^2 \left(\frac{\partial i}{\partial r} - \frac{i}{r}\right).$$

On a

$$U = -2A_0 - A_1 r + r^2 \psi,$$

ψ étant une certaine fonction. Or l'équation (14) nous apprend que $U = 0$ pour $r = 0$; il faut donc que l'on ait $A_0 = 0$, et la valeur de φ devient

$$\varphi = A_1 r + A_2 r^2 + \ldots. \tag{19}$$

Substituant cette valeur dans l'équation aux dérivées partielles (16) et annulant les coefficients des différentes puissances de r, on obtient les deux groupes d'équations

$$\left\{\begin{aligned} A_1 &= 0, \\ 1.3.A_2 - C\frac{dA_1}{dt} &= 0, \\ 3.5.A_3 - C\frac{dA_2}{dt} &= 0, \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ (2n-1)(2n+1)A_{2n-1} - C\frac{dA_{2n-1}}{dt} &= 0; \end{aligned}\right. \tag{20}$$

$$\left\{\begin{aligned} 2.4.A_4 - C\frac{dA_2}{dt} &= 0, \\ 4.6.A_6 - C\frac{dA_4}{dt} &= 0, \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots, \\ (2n-2)\,2nA_{2n} - C\frac{dA_{2n-2}}{dt} &= 0, \end{aligned}\right. \tag{21}$$

Le groupe (20) montre que tous les A d'indice impair sont nuls. Le groupe (21) montre que tous les A d'indice pair dépendent uniquement de A_2. On en tire, en effet,

$$\left\{\begin{aligned} A_4 &= k_4 \frac{dA_2}{dt}, \\ A_6 &= k_6 \frac{d^2A_2}{dt^2}, \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots, \\ A_{2n} &= k_{2n} \frac{d^{n-1}A_2}{dt^{n-1}}, \end{aligned}\right. \tag{22}$$

en posant

$$\left\{\begin{aligned} k_4 &= \frac{2C}{4^2}, \\ k_6 &= \frac{3C^2}{(4.6)^2}, \\ k_8 &= \frac{4C^3}{(4.6.8)^2}, \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots, \\ k_{2n} &= \frac{nC^{n-1}}{(4.6.8\ldots 2n)^2}. \end{aligned}\right. \tag{23}$$

Le problème revient donc uniquement à déterminer la fonction A_2 du temps. Nous avons, en supprimant l'indice 2, désormais inutile,

$$\varphi = Ar^2 + k_4 \frac{dA}{dt} r^4 + k_6 \frac{d^2A}{dt^2} r^6 + \ldots, \tag{24}$$

$$i = Ar + k_4 \frac{dA}{dt} r^3 + k_6 \frac{d^2A}{dt^2} r^5 + \ldots. \tag{25}$$

Substituons cette valeur de i dans l'équation (11). Il vient, tout calcul fait

$$A + \frac{CR^2}{2^2}\frac{dA}{dt} + \frac{C^2R^4}{(2.4)^2}\frac{d^2A}{dt^2} + \ldots = -\frac{Cn}{2}\frac{dI}{dt}. \tag{26}$$

La fonction A doit satistaire à cette équation.

Essayons pour A un développement de la forme

$$A = B_1 \frac{dI}{dt} + B_2 \frac{d^2I}{dt^2} + \ldots. \tag{27}$$

Pour déterminer les valeurs de B_1, B_2, etc., substituons dans (26) cette valeur de A, et annulons les coefficients des dérivées successives de I. On trouve ainsi

$$\left\{\begin{aligned} B_1 &= \beta, \\ B_2 + \frac{\alpha}{1^2} B_1 &= 0, \\ B_3 + \frac{\alpha}{1^2} B_2 + \frac{\alpha^2}{(1.2)^2} B_1 &= 0, \\ B_4 + \frac{\alpha}{1^2} B_3 + \frac{\alpha^2}{(1.2)^2} B_2 + \frac{\alpha^3}{(1.2.3)^2} B_1 &= 0, \end{aligned}\right. \tag{28}$$

Digitized by Google

en posant, pour abréger.

$$\frac{CR^2}{4} = \alpha, \qquad -\frac{Cn}{2} = \beta. \tag{29}$$

Les valeurs de B_1, B_2,.... sont

$$\begin{cases} B_1 = \beta, \\ B_2 = -\alpha\beta, \\ B_3 = \frac{3}{4}\alpha^2\beta, \\ B_4 = -\frac{19}{30}\alpha^3\beta, \\ B_5 = \frac{211}{576}\alpha^4\beta, \\ B_6 = -\frac{3651}{14400}\alpha^5\beta. \end{cases} \tag{30}$$

A et, par suite, i sont ainsi connus.

La solution ainsi trouvée pour i satisfait à toutes les conditions du problème. Nous pouvons admettre que c'est la seule, sauf à le démontrer plus tard rigoureusement. Il est à remarquer que les coefficients B_1, vont en décroissant très rapidement. En effet, pour un rayon de 1 cm. et dans le cas du métal le plus conducteur (l'argent), on a environ

$$\alpha = 0{,}002.$$

Nous pourrons, par exemple, comme première approximation, négliger dans i tous les termes qui contiennent des puissances de la conductibilité supérieure à la deuxième. Nous aurons ainsi

$$i = -2\pi cnr\frac{dI}{dt} + \pi^2c^2n\frac{d^2I}{dt^2}(2R^2 - r^2)r + \ldots. \tag{31}$$

A ce point de vue, on verra que i se développera suivant les dérivées successives de I. Les termes successifs de ce développement ont une signification physique très simple comme il est facile de s'en assurer par un calcul direct; le premier représente un système de courants induits calculé en ayant égard seulement à l'action du courant inducteur et en négligeant la réaction mutuelle des courants de Foucault; le second représente une première correction faite à la valeur précédente, en admettant la valeur trouvée d'abord pour calculer cette réaction mutuelle, et ainsi de suite. En d'autres termes si, au lieu de suivre la marche que nous avons adoptée, on calculait i par approximations successives, on tomberait sur la série (31).

Nous avons ainsi résolu le problème dans sa plus grande généralité, puisque nous avons supposé que l'intensité du courant inducteur était une fonction quelconque du temps. Tous les coefficients qui entrent dans nos formules sont immédiatement traduisibles en nombre, ce qui sera précieux pour les vérifications expérimentales.

Nous examinerons maintenant un cas particulier important, celui où le courant inducteur est un courant périodique. Toute fonction périodique étant développable en série de Fourier et toutes nos équations étant linéaires, il nous suffit, comme on le sait, d'étudier le cas simple où le courant I est une fonction harmonique du temps,

$$I = b\sin(mt - \varphi). \tag{32}$$

On pourrait, pour trouver i, appliquer la méthode générale. Il est plus simple de supposer *a priori* que A est aussi une fonction harmonique de même période, lorsque le régime permanent est établi,

$$A = a\sin mt. \tag{33}$$

Les deux seules inconnues sont alors a et φ.

Substituons cette valeur de A dans l'équation (26). Il vient

$$a\sin mt + \frac{a\alpha m}{1^2}\cos mt - \frac{a\alpha^2m^2}{(1.2)^2}\sin mt - \frac{a\alpha^3m^3}{(1.2.3)^2}\cos mt + \ldots = b\beta m\cos(mt - \varphi),$$

ce qui nous donne les équations

$$\begin{cases} a\left[1 - \frac{\alpha^2m^2}{(1.2)^2} + \frac{\alpha^4m^4}{(1.2.3.4)^2} - \frac{\alpha^6m^6}{(1.2.3.4.5.6)^2} + \ldots\right] = b\beta m\sin\varphi, \\ a\left[\frac{\alpha}{1^2} - \frac{\alpha^3m^3}{(1.2.3)^2} + \frac{\alpha^5m^5}{(1.2.3.4.5)^2} - \ldots\ldots\ldots\right] = b\beta m\cos\varphi. \end{cases} \tag{34}$$

Ces deux équations donnent immédiatement

Digitized by Google

les valeurs des inconnues a et φ. Il est à remarquer que les séries qu'elles contiennent sont toujours convergentes. On a alors

$$I = b \sin (mt - \varphi),$$
$$A = \sin mt$$

ou, ce qui revient au même,

$$I = b \sin mt,$$
$$A = a \sin (mt + \varphi);$$

i est par suite connu en chaque point.

IV. RÉACTION SUR L'INDUCTEUR ET CHALEUR DÉGAGÉE.

1. *Réaction sur l'inducteur.* — Nous venons de voir que l'intensité i en chaque point est donnée par la formule

$$i = Ar + k_4 \frac{dA}{dt} r^3 + k_6 \frac{d^2A}{dt^2} r^5 + \dots,$$

la quantité A étant donnée par les équations (28) et (30) et satisfaisant à l'équation

$$(26) \qquad A + \alpha \frac{dA}{dt} + \frac{\alpha^2}{(1.2)^2} \frac{d^2A}{dt^2} + \frac{\alpha^3}{(1.2.3)^2} \frac{d^3A}{dt^3} + \dots = \beta \frac{dI}{dt},$$

Nous allons maintenant rechercher quelle est la réaction des courants induits dans la masse métallique sur le courant inducteur. Il importe de bien préciser la question. Nous avons admis jusqu'ici, et nous continuerons à admettre que le courant inducteur est une fonction connue du temps. Cette fonction est abordable à l'expérience. Il suffit, en effet, à l'aide d'un disjoncteur convenable, de prendre à des intervalles de temps égaux la différence de potentiel aux deux extrémités d'une résistance sans self-induction parcourue par ce courant. Soient alors ρ la résistance, L la self-induction du solénoïde par unité de longueur; la différence de potentiel aux deux extrémités de cette résistance est

$$(35) \qquad E = \rho I + L \frac{dI}{dt} + \frac{dQ_1}{dt},$$

Q_1 étant le flux de force provenant des courants de Foucault. Soit Q le flux qui traverse une spire. On a évidemment

$$Q_1 = nQ,$$

$$(36) \qquad \frac{dQ}{dt} = \frac{E - \rho I - L \frac{dI}{dt}}{n}.$$

L'expérience donne le second membre en fonction du temps. On peut donc construire la courbe qui représente $\frac{dQ}{dt}$ en fonction du temps. Mais, d'autre part, les équations obtenues précédemment nous permettent de calculer *a priori* $\frac{dQ}{dt}$. Nous trouvons donc là un premier moyen de comparer les résultats de la théorie avec ceux de l'expérience.

La force magnétique H due aux courants de Foucault, en un point du cylindre conducteur, a pour valeur

$$H = \int_r^R 4\pi i dr,$$

et le flux

$$Q = \int_0^R 2\pi r dr \int_r^R 4\pi i dr = 8\pi^2 \int_0^R r dr \int_r^R i dr.$$

Cette intégrale double peut se transformer en une intégrale simple, et l'on trouve

$$Q = 4\pi^2 \int_0^R i r^2 dr,$$

d'où

$$(37) \qquad \frac{dQ}{dt} = 4\pi^2 \int_0^R r^2 \frac{\partial i}{\partial t} dr.$$

En nous reportant à l'équation (14), nous voyons que l'on peut écrire

$$(38) \qquad \frac{dQ}{dt} = \frac{4\pi^2 R^3}{C} \left(\frac{\partial i}{\partial r} - \frac{i}{r} \right)_{r=R}$$

Puisque nous connaissons i, l'une ou l'autre des équations (37) ou (38) nous permet de calculer $\frac{dQ}{dt}$.

Si nous calculons cette force électromotrice au degré d'approximation adopté dans l'équation (31), nous trouvons

$$(39) \qquad \frac{dQ}{dt} = - 2\pi^3 cn R^4 \frac{d^2I}{dt^2}.$$

Ainsi, dans une première approximation, la force électromotrice induite par les courants

Digitized by Google

de Foucault sur une spire (ou sur l'unité de longueur) du solénoïde conducteur sont proportionnelles à la quatrième puissance du rayon (1).

2. *Chaleur dégagée.* — Nous chercherons en second lieu les quantités de chaleur dégagée dans l'unité de longueur du noyau cylindrique. Nous ferons le calcul dans le cas d'un courant périodique quelconque, le seul important dans la pratique.

Soit dW la quantité d'énergie calorifique dégagée dans le cylindre pendant le temps dt; dW' la quantité analogue pour le solénoïde. Les lois connues de l'induction donnent

$$EI\,dt = dW + dW' + dT,$$

dT étant l'accroissement d'énergie électrocinétique du système pendant le temps dt. On a, en intégrant,

$$\int_0^1 EI\,dt = W + W' + \int_0^1 dT.$$

Mais si l'unité de temps comprend un grand nombre de périodes, l'accroissement d'énergie électrocinétique est nul, et l'on a simplement

$$\int_0^1 EI\,dt = W + W'.$$

Remplaçons E par sa valeur (35) et remarquons que

$$\int_0^1 I^2 dt = W'.$$

Il vient

$$L\int_0^1 I\,\frac{dI}{dt}\,dt + \int_0^1 I\,\frac{dQ_1}{dt}\,dt = W.$$

Ici encore, pour un grand nombre de périodes, le premier terme, qui représente l'accroissement d'énergie intrinsèque de l'inducteur, est négligeable, et l'on a seulement

$$W = \int_0^1 I\,\frac{dQ_1}{dt}\,dt. \qquad (37)$$

La quantité $\frac{dQ_1}{dt}$ est connue en fonction des dérivées successives de I ; il est donc facile de calculer W. Si nous adoptons toujours la même approximation, nous trouvons

$$W = -2\pi^3 cn^2 R^4 \int_0^1 I\,\frac{d^2I}{dt^2}\,dt = 2\pi^3 cn^2 R^4 \int \left(\frac{dI}{dt}\right)^2 dt. \qquad (38)$$

Telle est la quantité d'énergie dégagée par unité de temps dans le noyau conducteur sous forme de courants de Foucault.

Soit, comme précédemment, un courant sinusoïdal

$$I = b \sin mt,$$

$$\frac{dI}{dt} = bm \cos mt,$$

et l'énergie moyenne par unité de temps est

---

(1) Si nous calculons les termes successif de $\frac{dQ}{dt}$ et si nous substituons cette valeur dans l'équation (35), nous trouvons

$$E = \rho I + L\frac{dI}{dt} - 2\pi^3 cR^4 n^2 \frac{d^2I}{dt^2} + \frac{4}{3}\pi^4 c^2 R^6 n^2 \frac{d^3I}{dt^3}$$
$$- \frac{11}{12}\pi^5 c^3 R^8 n^2 \frac{d^4I}{dt^4} + \frac{19}{30}\pi^6 c^4 R^{10} n^2 \frac{d^5I}{dt^5}$$
$$- \frac{47^3}{1080}\pi^7 c^5 R^{12} n^2 \frac{d^6I}{dt^6} + \frac{92371}{301870}\pi^8 c^6 R^{14} n^2 \frac{d^7I}{dt^7} - \ldots.$$

Si, en particulier, nous supposons le courant sinusoïdal

$$I = b \sin mt,$$

nous pouvons écrire

$$(45)\begin{cases} E = \rho I + L\frac{dI}{dt} - 2M\frac{d^2I}{dt^2} + \frac{4}{3}MN\frac{d^3I}{dt^3} - \frac{11}{12}MN^2\frac{d^4I}{dt^4} \\ = \left(\rho + 2Mm^2 - \frac{11}{12}MN^2m^4 + \frac{47^3}{1080}MN^4m^6 - \ldots\right)I \\ + \left(L - \frac{4}{3}MNm^3 + \frac{19}{30}MN^3m^5 - \frac{92371}{301800}MN^5m^7 + \ldots\right)\frac{dI}{dt}, \end{cases}$$

en posant

$$M = \pi^3 cR^4 n^2, \qquad N = \pi cR^2.$$

L'équation (45) montre que la présence d'un noyau conducteur dans un solénoïde semble augmenter sa résistance (pour des courants alternatifs) et diminuer sa self-induction.

Nous trouvons donc ici une analogie complète avec ce qui se passe dans la propagation d'un courant alternatif à travers un cylindre (Voir Maxwell (trad. franç.), t. II, p. 360, et la note de M. Potier, p. 376). La question tout entière que nous avons traitée dans cette note présente d'ailleurs de nombreux points de ressemblance avec celle de la propagation d'un courant variable à travers un cylindre : ce sont là, semble-t-il, deux problèmes corrélatifs.

Digitized by Google

$$W = \pi^3 cn^2 R^4 b^2 m^2.$$

$$(39) \qquad W = \frac{4\pi^3 cn^2 R^4 b^2}{T^2}.$$

Telle est en unités mécaniques la quantité de chaleur que développent les courants de Foucault par unité de longueur du cylindre.

Soit ρ la résistance de l'unité de longueur du solénoïde. On a

$$W' = \frac{\rho b^2}{2}.$$

d'où l'on tire

$$(40) \qquad \frac{W}{W'} = \frac{8\pi^3 cn^2 R^4}{\rho T^2},$$

Soit s la résistance de l'unité de longueur du fil employé; on a

$$\rho = 2\pi Rns,$$

d'où

$$(41) \qquad \frac{W}{W'} = \frac{4\pi^4 cn R^2}{sT^2}.$$

Cette expression nous donne les lois suivantes :

Pour une période donnée du courant inducteur, le rapport des quantités de chaleur dégagées dans le cylindre et dans le solénoïde est indépendant de l'intensité moyenne du courant dans le solénoïde.

Ce rapport est proportionnel au nombre de spires par unité de longueur, au cube du rayon, à la conductibilité, et en raison inverse de la résistance de l'unité de longueur du fil inducteur.

Pour fixer les idées sur l'ordre de grandeur du phénomène, imaginons un cylindre d'argent de 1 cm de rayon, recouvert d'un fil de cuivre de 1 mm. de diamètre (nous négligeons l'épaisseur de la couche isolante) parcouru par courant alternatif de fréquence 100. On trouve environ.

$$\frac{W}{W'} = 0{,}1.$$

Ainsi, dans ce cas, la quantité de chaleur dégagée dans le noyau est environ la dixième partie de la quantité de chaleur dégagée dans une longueur égale du solénoïde.

Si le noyau était magnétique, les phénomènes d'hystérésis interviendraient en même temps que les courants de Foucault, et augmenteraient la quantité de chaleur dégagée.

P. JANET,
Chargé de cours à la Faculté des sciences de Paris.

LA DÉTERMINATION DE L'INTENSITÉ MOYENNE SPHÉRIQUE DES SOURCES DE LUMIÈRE (1)

III. Formules approchées.

Pour chaque source de lumière connue on peut trouver une formule empirique permettant d'apprécier, au moins grossièrement, quelle peut être la moyenne sphérique, d'après une ou deux mesures seulement. On a indiqué des formules de ce genre pour l'arc électrique à courants continus et pour la lampe à incandescence ; nous rappellerons ici ces formules bien connues, dans le seul but de les compléter par quelques considérations nouvelles.

1° *Arc à courants continus.* — Tout le monde connaît la formule empirique proposée à l'Exposition de 1881, par MM. Allard, Potier, Leblanc, Tresca et Joubert :

$$I_{ms} = \frac{I_h}{2} + \frac{I_m}{4}, \qquad (1)$$

dans laquelle I_h et I_m désignent respectivement l'intensité horizontale et l'intensité maxima. Nous en déduirons la valeur du flux lumineux :

$$\Phi = 4\pi\left(\frac{I_h}{2} + \frac{I_m}{4}\right), \qquad (2)$$

ce qu'on peut écrire

$$\Phi = 2\pi\left(\frac{I_h}{2} + \frac{I_m}{2}\right) + 2\pi\left(\frac{I_h}{2}\right). \qquad (3)$$

D'après ce qu'on a remarqué à l'Exposition

(1) *L'Éclairage électrique* du 2 mars, p. 385.

Digitized by Google

de 1881, le premier terme peut représenter le flux hémisphérique inférieur, et le second le flux hémisphérique supérieur.

La formule (1) a été vérifiée, comme on le sait, d'une manière assez satisfaisante par les mesures du Jury de l'Exposition d'Anvers, dont M. Wybauw a relevé avec soin tous les résultats ; mais elle n'en donne pas moins des erreurs moyennes de 6 p. 100, et des erreurs vraies souvent énormes. Elle n'a été établie d'ailleurs que pour des lampes ayant des conditions de fonctionnement en réalité toutes assez voisines, et ne saurait, par suite, être appliquée avec sûreté dès que le régime s'éloigne de la pratique ordinaire.

2° *Arc à courants alternatifs.* — La seule formule qui ait été proposée jusqu'ici est celle de l'Exposition de 1881

$$I_{ms} = 0{,}9\ I_h. \qquad (4)$$

Elle n'a aujourd'hui aucune valeur, parce qu'elle a été établie d'après des mesures faites par M. Allard sur des arcs à courants alternatifs qui ne ressemblent pas du tout à ceux qu'on emploie maintenant industriellement. Ces arcs, produits par les machines de l'Alliance et de Méritens, étaient obtenus entre des crayons homogènes petits et rapprochés, dont les pointes rougissaient extérieurement sur une certaine longueur.

Aujourd'hui, au contraire, on emploie de plus faibles densités de courant ; en outre les crayons sont toujours des crayons à âme, ce qui permet de marcher avec de plus grands écarts (2,5 à 5 mm.). Il en résulte :

1° Qu'il se forme sur les deux pointes de petits cratères à peu près symétriques, analogues tous deux à ceux d'un arc à courant continu, mais plus petits.

2° Que les parties lumineuses des pointes se concentrent presque uniquement dans ces deux petits cratères. C'est seulement lorsqu'on force la densité du courant qu'on voit les pointes devenir brillantes progressivement en dehors du cratère, comme le montrent bien des photographies que j'ai publiées dans un travail antérieur (1).

En partant de ces résultats on peut appliquer à l'arc alternatif le mode de raisonnement que M. Trotter a indiqué pour l'arc à courants continus (2) et qui lui a permis d'en expliquer si ingénieusement la répartition lumineuse ; chacun des petits cratères, s'il n'était pas occulté en partie par le crayon opposé, donnerait une courbe méridienne d'intensité représentée (fig. 5) par un cercle tangent à la surface presque plane de ce petit cratère ; les occultations des deux crayons réduisent ces cercles à deux courbes en ailes de papillon que nous

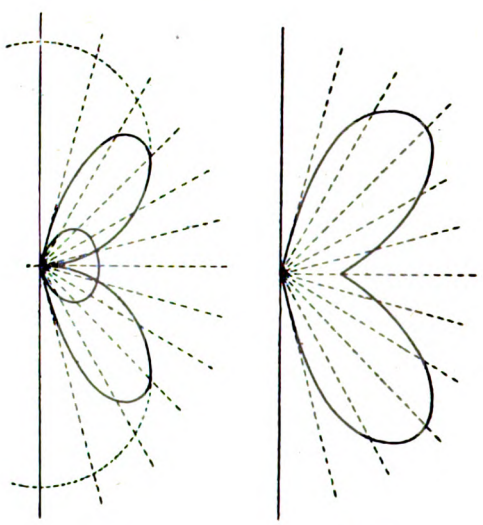


Fig. 5. Fig. 6.

désignerons par D_1 et D_2, et dont la forme aux environs de l'axe des crayons est analogue à celle de l'arc continu, ainsi que le montre le tracé en pointillé (3).

(1) Recherches expérimentales sur l'arc à courants alternatifs. *Lumière électrique*, 1891.

(2) *Inst. of Electrical Eng.*, mai 1892.

(3) Si les deux charbons étaient taillés très symétriquement et les deux alternances du courant rigoureusement égales, les deux courbes le seraient aussi ; mais en pratique il est rare qu'il en soit ainsi d'une manière absolue.

Digitized by Google

Enfin l'arc proprement dit et les parties brillantes des crayons en dehors des cratères produisent une certaine intensité lumineuse supplémentaire, dont la courbe de répartition, que nous appellerons D_3, a une forme analogue à celle tracée au milieu de la figure, et se confond sur une certaine étendue, en dessus et en dessous du plan horizontal, avec un cercle.

La courbe résultante obtenue en additionnant les rayons vecteurs de D_1, D_2 et D_3, est représentée par la figure 6, où l'on retrouve forcément un point de rebroussement sur l'horizontale. En pratique ce point de rebroussement peut être plus ou moins adouci, mais on en sent généralement l'existence tant que la densité du courant reste dans les limites ordinaires.

Quand elle est faible, les ailes du papillon de la courbe sont peu développées (fig. 7).

Lorsqu'on la force et que les parties lumineuses débordent hors des petits cratères, la courbe D_2 s'agrandit beaucoup et l'on trouve

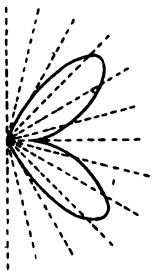


Fig. 7.

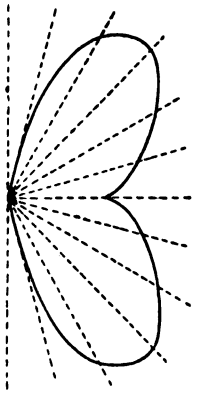


Fig. 8.

alors des courbes affectant la forme de la figure 8.

Si en même temps on réduit l'écart des pointes, le point de rebroussement disparaît peu à peu et on obtient des courbes telles que celle de la figure 9, que j'ai relevée sur un arc de 54 ampères, 50 volts (crayons de 15 mm.), écart de 5 mm., et même celle de la figure 10, qui a été indiquée par M. Allard.

Pendant longtemps, tout le monde a cru sur la foi de cette dernière que la courbe de distribution de la lumière d'un arc alternatif différait peu d'un simple cercle ; c'est M. Uppenborn qui le premier a indiqué une forme analogue à la figure 6, qu'on peut appeler la

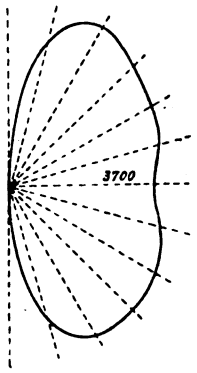


Fig. 9.

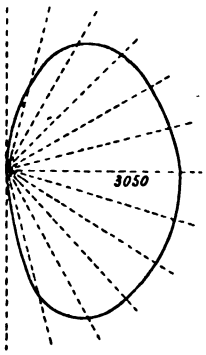


Fig. 10.

« courbe en ailes de papillon » et dont les considérations précédentes expliquent complètement l'origine.

La formule (4) rappelée ci-dessus est complètement fausse quand on essaie de l'appliquer à ce type d'arcs, le plus important aujourd'hui. Du reste par suite des modifications considérables qu'on vient de montrer dans la courbe suivant la densité de courant, il serait difficile de représenter dans tous les cas par une seule formule la valeur de la moyenne sphérique.

J'ai essayé diverses expressions empiriques qui peuvent représenter les faits. Celle qui devrait s'appliquer le mieux aux arcs alternatifs actuels, d'après la forme générale des courbes, est

$$I_{ms} = \frac{I_h}{2} + \frac{I_m + I'_m}{4}, \qquad (5)$$

en appelant encore I_h l'intensité horizontale et I_m, I'_m les deux intensités maxima. Elle donne en effet d'assez bons résultats pour les arcs au-dessous de 10 ampères.

Mais pour les arcs de plus de 10 ampères, il faut réduire le coefficient de I_h et prendre

Digitized by Google

$\frac{I_h}{4}$ ou $\frac{I_h}{8}$ au lieu de $\frac{I_h}{2}$. Comme exemple d'application de la formule

$$I_{ms} = \frac{I_h}{8} + \frac{I_m + I'_m}{4}, \qquad (6)$$

je prendrai les chiffres des courbes récemment publiées par la Société Hélios, résumés dans le tableau suivant.

COMPARAISON DE LA MOYENNE SPHÉRIQUE DÉTERMINÉE PAR LA MÉTHODE DE M. ALLARD AVEC CELLE DÉDUITE DE LA FORMULE $I_{ms} = \frac{I_h}{8} + \frac{I_m + I'_m}{4}$

N° de la courbe.	AMPÈRES	VOLTS	INTENSITÉS MESURÉES			INTENSITÉ MOYENNE SPHÉRIQUE	
			horizontale	Inférieure maxim	Supérieure maxim	déduite de la courbe	déduite de la formule $\frac{I_h}{8} + \frac{I_m + I'_m}{4}$
a	50	25	1630	4840	4660	2625	2578
b	30	28	1800	3880	3880	2200	2165
c	20	27,5	940	1800	3760	1500	1507
d	16	28	925	2160	2200	1200	1206
e	15	27,5	670	1500	1570	870	850
f	10	28	150	550	550	275	293

Les chiffres exacts de moyenne sphérique déterminés par les auteurs des courbes d'après celles-ci sont indiqués dans l'avant-dernière colonne, tandis que j'ai porté dans la dernière ceux de la formule (6); on voit que l'accord est des plus satisfaisants.

En général on pourra prendre une formule intermédiaire applicable aux arcs de 8 à 12 ampères.

$$I_{ms} = \frac{I_h}{4} + \frac{I_m + I'_m}{4} \qquad (7)$$

Quant au cas extrême de la figure 9, il ne se présente plus aujourd'hui dans la pratique et on peut donc le laisser de côté.

3° *Lampes à incandescence.* — On a fait beaucoup de raisonnements et de calculs pour déterminer les intensités moyennes des lampes à incandescence (1); on a cherché à en calculer non seulement l'intensité moyenne sphérique, qui est très intéressante, mais encore l'intensité horizontale moyenne, dont j'avoue ne pouvoir saisir l'utilité. En fait, la plupart de ces calculs sont aujourd'hui beaucoup moins nécessaires qu'autrefois, alors que les filaments avaient des formes variées, et souvent étranges. Mais le point de départ mérite d'être rappelé, et nous permettra d'arriver à des conclusions pratiques.

M. Potier a montré à l'Exposition de 1881 que, pour chaque type de lampe à incandescence, la moyenne sphérique peut se déduire de l'intensité horizontale I_h mesurée dans une direction connue, en multipliant celle-ci par un coefficient caractéristique, constant pour ce type. Sa démonstration repose sur la remarque que les filaments incandescents ont un *éclat* sensiblement uniforme sur toute leur surface et que l'émission de la lumière par celle-ci se fait suivant la loi du cosinus, applicable en général aux corps solides noirs incandescents.

Soit I_h l'intensité horizontale mesurée dans une certaine direction connue, σ l'aire de la projection du filament sur un plan perpendiculaire à cette direction, et S la surface totale de ce filament. La formule de M. Potier est

$$I_{ms} = I_h \frac{S}{4\sigma} \qquad (8)$$

Elle est évidente, comme on va le voir, si l'on se rappelle la distinction entre l'intensité lumineuse émise par unité de surface du filament, qu'on appelle l'*éclat intrinsèque i*, et le flux de lumière émis par unité de surface, auquel j'ai proposé de donner (1) le nom caractéristique de *rayonnement intrinsèque* R. L'intensité I_h a pour expression, d'après ces définitions,

$$I_h = i\sigma,$$

et le flux total produit par le filament

$$\Phi = RS.$$

(1) Voir PALAZ : *Traité de Photométrie.*

(1) Grandeurs et unités photométriques (*Lumière électrique*, juin 1894).

Digitized by Google

D'où

$$\frac{\Phi}{I_h} = \frac{R}{i}\frac{S}{\sigma}$$

Or, pour les corps qui suivent la loi de Lambert (loi du cosinus), on a

$$R = \pi i;$$

on a donc ici

$$\Phi = I_h \times \pi \frac{S}{\sigma} \qquad (9)$$

expression qui est bien équivalente à la formule de M. Potier (8).

Cette équation nous permet de formuler immédiatement quelques remarques pratiques.

Quelle est la meilleure forme à donner au filament? Pour le public, ce serait celle qui lui assurerait le plus grand flux lumineux pour un prix d'achat et une dépense de watts donnés. Malheureusement le public ne s'est jamais préoccupé du flux, mais seulement de l'*intensité horizontale maxima;* car c'est d'après celle-ci que sont tarifées les lampes, et l'acheteur le plus technique se contente actuellement de la comparer au prix d'achat et au nombre de watts par bougie; s'il est au courant des dernières recherches, il choisira des lampes *poussées*. Dans ces conditions c'est alors le constructeur qui doit se dire : quelle est pour la vente la meilleure forme de filament? C'est évidemment celle qui, toutes choses (1) égales d'ailleurs, permettra de produire l'intensité horizontale demandée avec le plus petit nombre de watts.

L'énergie dépensée étant, à température égale, proportionnelle à la surface rayonnante S, l'idéal du constructeur est donc de rendre $\frac{S}{\sigma}$ aussi petit que possible. Il peut y arriver en aplatissant l'ensemble du filament de façon à ce qu'il s'écarte aussi peu que possible du plan moyen, tout en présentant en même temps sa plus grande largeur parallèlement à ce plan.

Cette disposition, facile à réaliser avec certains types anciens de filaments, tels que ceux de Maxim, conduirait à une perte énorme de lumière pour l'acheteur : et il ne serait pas difficile, dans ces conditions, de faire passer pour « poussée » une lampe qui ne le serait nullement.

Heureusement les conditions pratiques de fabrication ont amené à peu près partout les fabricants à adopter un filament à section circulaire qui ne se prête plus à cette combinaison. Alors, en appelant l la longueur vraie de celui-ci, et p la longueur de sa projection sur le plan moyen perpendiculaire à la direction de I_h, on a simplement

$$\frac{S}{\sigma} = \frac{l}{p} \times \pi, \qquad (10)$$

D'où

$$\Phi = \pi^2 \frac{l}{p} I_h. \qquad (11)$$

Le constructeur a tout intérêt à aplatir le plus possible la boucle pour que p diffère aussi peu que possible de l.

Si l'on connaît la valeur de l (qu'on peut obtenir en mesurant le filament d'une lampe hors de service) et qu'on mesure p par projection dans une chambre noire, on obtient la valeur de $\frac{l}{p}$ et on peut appliquer la formule (11).

Pratiquement on peut se contenter d'admettre que la boucle est très plate et prendre à titre d'approximation $\frac{l}{p} = 1$; en tout cas on aura ainsi un *minimum* du flux réalisable. Donc

$$\Phi \geqq \pi^2 I_h, \qquad (12)$$

ou plus simplement encore

$$\Phi \geqq 10\, I_h, \qquad (13)$$

I_h étant toujours l'intensité horizontale maxima.

D'où cette conclusion pratique : si l'on emploie des lampes à filaments ronds, on peut admettre que le flux donné par chacune est exprimé par un nombre de *lumens* décuple de l'intensité exprimée en bougie décimales ou pyrs.

Par exemple une lampe de 16 bougies déci-

(1) Pouvoir émissif, degré de vide, température, etc.

Digitized by Google

males donnera sensiblement 160 lumens, c'est-à-dire qu'elle pourra éclairer 160 m² avec un éclairement de 1 lux. (Le lux est l'éclairement produit par une bougie à 1 m.) (1).

Si l'on préfère la moyenne sphérique, ce sera dans la même hypothèse.

$$I_{ms} = \frac{\pi}{4} I_h = 0{,}785\ I_h \qquad (14)$$

Quelque intérêt que présentent les formules empiriques que nous venons d'étudier, et quelques bons services qu'elles puissent rendre aux praticiens, elles n'en constituent pas pour autant une méthode plus sûre que la méthode photométrique rappelée plus haut. Elles n'ont que la valeur d'une approximation grossière, bonne pour les applications des appareilleurs.

Pour éviter les ennuis de la méthode photométrique et obtenir une plus grande précision on peut recourir à des procédés autres que la photométrie toutes les fois qu'il s'agit d'une source présentant la même composition de lumière dans toutes les directions, cas malheureusement assez rare qui est cependant celui des lampes à incandescence. On pourrait alors dans le dispositif de la figure 2 remplacer le photomètre par un bolomètre, et même employer celui-ci à l'inscription automatique de la courbe sur un tambour photographique monté sur l'arbre de rotation du miroir et disposé dans une boîte à fentes analogue à celle que j'ai décrite pour l'inscription photographique des courbes périodiques. Mais cette méthode est inapplicable aux sources telles que l'arc électrique dont la composition spectrale varie suivant l'inclinaison des rayons en même temps que l'intensité photométrique.

Il est donc nécessaire, toutes les fois qu'on veut faire des mesures un peu précises, par exemple comparer des arcs produits dans des conditions différentes ou à l'aide de charbons différents, d'en venir à l'une des méthodes nouvelles que nous allons indiquer.

(*A suivre.*) André BLONDEL

(1) Cet exemple suppose qu'il s'agit d'éclairer un local dont les parois ne sont pas réfléchissantes. Dans la pratique, comme l'ont indiqué M. Mascart et le Dr Sumpner, les réflexions multiples augmentent la valeur de l'éclairement. On peut s'en rendre compte par un raisonnement que j'ai donné précédemment et qui consiste à égaler simplement le flux absorbé par la paroi au flux produit par les sources contenues dans la salle. Soit A la surface totale des parois de la salle, q leur pouvoir réflecteur, $1-q$ leur pouvoir absorbant; on aura, en se rappelant que l'éclairement E est le flux reçu par une unité de surface, et en exprimant la conservation du flux :

$$(1-q)\,AE = \Phi = 10\ I_h,$$

d'où

$$E = \frac{10}{(1-q)\,A}\ I_h. \qquad (15)$$

On pourra donc compter éclairer au moyen d'une lampe de 16 bougies 160 m², avec une intensité d'éclairement de $\frac{1}{1-q}$ lux.

SUR LA FORME D'ÉQUILIBRE D'UN CONDUCTEUR FILIFORME FLEXIBLE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE

1. *Notations.* — Nous prenons un système d'axes de coordonnées rectangulaires.

Nous désignons par :

x, y, z, les coordonnées d'un point;

$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, la distance de ce point à l'origine des coordonnées;

$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$, sa distance à l'axe des z;

s, l'arc de courbe considéré comme variable indépendante; les dérivées d'une quantité par rapport à cette variable seront représentées en affectant la lettre désignant cette quantité des indices (′) (″), etc.;

S, la longueur de la courbe entre deux points d'indices 1 et 2.

L, M, N, les projections de l'intensité du champ magnétique en un point quelconque, soumises à la condition de continuité

$$\frac{dL}{dx} + \frac{dM}{dy} + \frac{dN}{dz} = 0;$$

H, l'intensité du champ.

l, m, n, les cosinus directeurs de l'intensité du champ;

Digitized by Google

$\mathfrak{F}$, le flux de force magnétique embrassé par le conducteur; ses composantes $\mathfrak{L}$, $\mathfrak{M}$, $\mathfrak{N}$, sont définies par les relations

$$L = \frac{d\mathfrak{N}}{dy} - \frac{d\mathfrak{M}}{dz},$$
$$M = \frac{d\mathfrak{L}}{dz} - \frac{d\mathfrak{N}}{dx},$$
$$N = \frac{d\mathfrak{M}}{dx} - \frac{d\mathfrak{L}}{dy};$$

F, la tension mécanique longitudinale du conducteur; i, l'intensité du courant dans le conducteur, comptée positivement dans le sens des s croissants;

X, Y, Z les projections de l'action mécanique E du champ sur le conducteur, en un point quelconque, rapportée à l'unité d'arc;

θ, l'angle de la tangente au conducteur et de la direction du champ en un point quelconque; on a

$$\cos\theta = \sqrt{lx' + my' + nz'}$$
$$\sin\theta = \sqrt{(mz' - ny')^2 + (nx' - lz')^2 + (ly' - mx')^2};$$

ε, l'angle de la tangente à la courbe et de la perpendiculaire commune à deux lignes de force magnétiques infiniment voisines du point de contact;

R, le rayon de première courbure;

T, le rayon de seconde courbure ou de torsion,

La notation $(\ )_x$ indique une projection faite sur l'axe de x, orthogonalement.

I. THÉORIE GÉNÉRALE.

2. *Remarques préliminaires.* — Nous admettrons :

1° Que le fil conducteur est sans raideur, c'est-à-dire parfaitement flexible.

2° Que la modification produite par le courant qui traverse ce conducteur, sur le champ magnétique, est négligeable.

Si un conducteur répondant aux conditions ci-dessus, est fixé en deux de ses points 1, 2, distants l'un de l'autre d'une longueur de conducteur égale à S, ce conducteur prendra une forme d'équilibre déterminée. Nous verrons que cette forme d'équilibre ne dépend pas de la grandeur absolue des intensités du courant et du champ, mais qu'elle est déterminée seulement par le sens du courant et du champ, et par la nature géométrique du champ.

Dans cette position d'équilibre, le conducteur sera le siège d'une tension mécanique F, qui sera contre-balancée aux points 1 et 2 par les réactions des liaisons. Cette tension F sera constante dans toute l'étendue du conducteur; elle sera directement proportionnelle aux grandeurs absolues des intensités du courant et du champ magnétique.

En un mot, si, sans changer le sens du champ ou du courant, on modifie leurs grandeurs absolues, tout en maintenant leurs caractères géométriques, la forme d'équilibre ne sera pas modifiée : seule la tension du fil aura varié. Il en sera encore de même quand on supposera simultanément renversés le sens du courant et celui du champ.

3. *Méthodes de recherche.* — Nous pourrons, pour déterminer la forme d'équilibre du fil, exprimer que le flux de force magnétique embrassé par le fil est un maximum. Cette méthode, purement géométrique, ne nous fournira que les conditions géométriques du problème. Elle laissera par conséquent indéterminée la tension mécanique du fil conducteur. Nous n'en dirons que quelques mots.

La solution complète du problème pourra être obtenue en prenant comme point de départ l'effort mécanique exercé par le champ en un point quelconque du conducteur, conformément à la loi de Laplace, et en appliquant ensuite les conditions générales d'équilibre des fils. Cette façon de procéder présentera sur la première l'avantage d'introduire dans le calcul les données physiques de la question, c'est-à-dire les intensités du courant et du champ. Elle permettra donc de déterminer la tension mécanique du fil.

4. *Première méthode.* — Le flux de force magnétique embrassé par le fil a pour expression

$$\mathfrak{F} = \iint (L\,dy\,dz + M\,dz\,dx + N\,dx\,dy),$$

Digitized by Google

l'intégration étant étendue à une surface continue de forme quelconque limitée par le fil.

Cette expression peut aussi s'écrire

$$\mathfrak{F} = -\int (\mathfrak{L}x' + \mathfrak{M}y' + \mathfrak{N}z')\,ds \qquad (1)$$

en vertu des conditions énoncées au paragraphe 1 ; l'intégration devra cette fois être effectuée le long du fil lui-même.

Les équations d'équilibre du fil s'obtiendront en exprimant que ce flux $\mathfrak{F}$ est maximum.

Remarquons toutefois qu'il ne s'agit ici que d'un maximum relatif, car la question est circonscrite par la condition que la longueur du fil entre les deux points fixes 1 et 2 soit égale à une quantité donnée S, ce que nous exprimerons par l'égalité

$$\int_1^2 ds = S \qquad (2)$$

Mais la recherche du maximum de la fonction $\mathfrak{F}$, relatif à la réalisation de la condition exprimée par l'égalité (2) revient à la recherche du maximum absolu d'une nouvelle fonction

$$(1) + x\,(2),$$

ou

$$-\int (\mathfrak{L}x' + \mathfrak{M}y' + \mathfrak{N}z' + x)\,ds$$

expression dans laquelle x représente une quantité arbitraire.

Sans nous arrêter davantage aux détails de ce calcul, disons de suite que la méthode des variations conduit aux équations suivantes :

$$\frac{x''}{Mz' - Ny'} = \frac{y''}{Nx' - Lz'} = \frac{z''}{Ly' - Mx'}, \qquad (3)$$

qui, intégrées, fourniront la forme d'équilibre, mais non la valeur de la tension du fil, ainsi que nous l'avons remarqué au paragraphe 3.

5. *Seconde méthode.* — Le fil étant soumis en chaque point, de la part du champ, à un effort spécifique dont les projections sont X, Y, Z, sera le siège en ce point d'une tension longitudinale F. Les équations d'équilibre du fil seront donc

$$\begin{aligned} d(Fx') &= -X\,ds, \\ d(Fy') &= -Y\,ds, \\ d(Fz') &= -Z\,ds, \end{aligned} \qquad (4)$$

$$dF = -(X\,dx + Y\,dy + Z\,dz). \qquad (5)$$

D'après la loi de Laplace, l'action mécanique du champ sur le fil est en tout point perpendiculaire au fil, c'est-à-dire que l'on a

$$X\,dx + Y\,dy + Z\,dz = 0.$$

L'équation (5) se réduit par suite à

$$dF = 0.$$

ou

$$F = \text{Constante}.$$

La tension est donc la même dans toute la longueur du fil.

Cette condition étant introduite dans le système d'équations (4), celles-ci deviennent

$$\begin{aligned} Fx'' &= -X, \\ Fy'' &= -Y, \\ Fz'' &= -Z, \end{aligned} \qquad (6)$$

ou encore

$$\frac{x''}{X} = \frac{y''}{Y} = \frac{z''}{Z} = -\frac{1}{F}. \qquad (7)$$

6. *Autre forme des équations d'équilibre.* — D'après la loi de Laplace, l'effort E projeté suivant X, Y, Z, exercé par le champ sur l'unité de longueur du fil, est proportionnel à l'intensité du champ, à celle du courant, et au sinus de l'angle de la direction du champ et du fil; il est perpendiculaire en chaque point du fil, au plan déterminé par la tangente au fil et par la direction du champ; et son sens est tel que, de ce côté du plan, l'on puisse rabattre la direction du champ sur celle du courant en décrivant l'angle θ d'un mouvement dextrorsum.

L'effort E est donc exprimé en grandeur absolue par

$$iH \sin\theta,$$

et ses cosinus directeurs sont

$$\frac{mz' - ny'}{\sqrt{(mz' - ny')^2 + (nx' - lz')^2 + (ly' - mx')^2}},$$

etc.

Digitized by Google

ou encore

$$\frac{mz' - ny'}{\sin\theta},$$
$$\frac{nx' - lz'}{\sin\theta},$$
$$\frac{ly' - mx'}{\sin\theta}.$$

Les projections X, Y, Z seront donc déterminées par les relations

$$X = iH\,(mz' - ny'),$$
$$Y = iH\,(nx' - lz'),$$
$$Z = iH\,(ly' - mx').$$

Le système d'équations (7) deviendra, par la substitution de ces valeurs :

$$\frac{x''}{mz' - ny'} = \frac{y''}{nx' - lz'} = \frac{z''}{ly' - mx'} = -\frac{iH}{F} \qquad (8)$$

Ce système est identique au système (3) fourni par l'application de la première méthode; mais il renferme en plus la tension F du fil.

7. *Constantes d'intégration.* — L'intégration de ces trois équations du second ordre introduira six constantes arbitraires, qui, jointes à la tension F du fil, constitueront un système de sept quantités qui devront pouvoir être déterminées d'après les données initiales du problème.

Ces données sont d'ailleurs aussi au nombre de sept; ce sont :

1° les coordonnées $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2$ des deux points d'attache du fil;

2° la longueur S du fil entre ces deux points d'attache.

Le problème sera donc complètement déterminé.

8. *Remarque relative à la valeur de la tension* F *du fil.* — Le système (8) montre que la tension F n'entre dans les équations qu'à l'intérieur du facteur de combinaison.

$$\frac{iH}{F}.$$

Si ce facteur reste constant, ses différents constituants variant comme on le voudra, le système (8) restera identique à lui-même, et la forme d'équilibre ne sera pas changée.

On voit donc immédiatement que *la forme d'équilibre du fil ne dépend que des données géométriques de la question, et non de la grandeur absolue des intensités du courant et du champ.*

Au contraire, *la tension du fil varie proportionnellement au produit de l'intensité du champ et du courant,* ce qui doit s'entendre de la façon suivante : Si la distribution géométrique du champ restant la même, le champ devient 1, 2, 3 fois plus intense, la tension du fil augmentera dans le même rapport.

On voit aussi que *la forme d'équilibre et la tension du fil resteront les mêmes si l'on renverse simultanément le sens du champ et celui du courant.*

Si l'on ne renverse que le sens de l'une de ces deux quantités, le produit $\frac{iH}{F}$ changera de signe, car la tension F du fil est une quantité essentiellement positive, si nous supposons, comme on le fait généralement, que le fil n'est susceptible de supporter qu'un effort de traction. La forme d'équilibre sera donc changée, le dernier membre des équations (8) changeant de signe. Cette seconde forme d'équilibre pourra avoir avec la première des relations plus ou moins étroites, selon la nature des données du problème.

9. *Première courbure du fil.* — On sait que les projections du rayon de première courbure sont exprimées par les relations

$$(R)_x = R^2 x'',$$
$$(R)_y = R^2 y'',$$
$$(R)_z = R^2 z'',$$

le rayon étant compté positivement de la courbe vers le centre de courbure.

Le système d'équations (8) pourra par conséquent s'écrire

$$\frac{(R)_x}{mz' - ny'} = \frac{(R)_y}{nx' - lz'} = \frac{(R)_z}{ly' - mx'} = -\frac{iH}{F} R^2, \qquad (9)$$

Digitized by Google

ce qui conduit de suite à une propriété importante du rayon de courbure.

En rapprochant, en effet, du système (9) les valeurs que nous avons trouvées au paragraphe 6 pour les cosinus directeurs de l'effort E exercé par le champ magnétique sur l'unité de longueur du fil, nous remarquons que *le rayon de première courbure de la courbe est en tout point dirigé suivant la direction de l'effort exercé par le champ sur le fil, et est de sens contraire à cet effort.*

Comme d'ailleurs l'effort est en tout point perpendiculaire à la direction du champ, il suit aussi que *le rayon de première courbure est en tout point perpendiculaire à la direction du champ.*

De plus, les lignes de force magnétiques qui s'appuient sur le fil considéré comme directrice, sont les génératrices d'une surface qui n'est autre que celle du tube de force magnétique embrassé par le fil. *Le rayon de courbure du fil* étant en chaque point perpendiculaire au fil et à la ligne de force, qui sont deux lignes tracées sur la surface, *est en chaque point perpendiculaire à la surface du tube de force.*

10. *Valeur du rayon de première courbure.* — Les équations (9) donnent la relation

$$\frac{i^2H^2}{F^2}R^4 = \frac{(R)^2_x + (R^2)_y + (R^2)_z}{\sin^2\theta} = \frac{R^2}{\sin^2\theta},$$

ou bien

$$\frac{1}{R} = \frac{iH\sin\theta}{-F}. \qquad (10)$$

On en déduit que

$$-RH\sin\theta = \frac{F}{i} = C^{te}$$

11. *Points d'inflexion de la courbe.* — Le rayon de première courbure R ne pourra, en vertu de la relation (10), devenir infini que si l'une ou l'autre des hypothèses suivantes est réalisée ;

1° $i = 0$. Mais alors F est aussi nul, et le problème est indéterminé.

2° $\sin\theta = 0$. Il ne pourra y avoir inflexion du fil qu'aux points où le fil est tangent à une ligne de force magnétique.

3° $H = 0$. Il pourra y avoir inflexion aux points où l'intensité du champ est nulle, c'est-à-dire aux points de potentiel magnétique maximum ou minimum.

4° $F = \infty$. Alors, comme F est constant tout le long du fil, on voit que la figure d'équilibre sera une ligne droite.

Donc, en général, *on ne pourra maintenir le fil rectiligne qu'en lui appliquant une tension longitudinale infinie.*

Il n'y a d'exception que si $\sin\theta$ est constamment nul ; alors le fil sera tendu suivant une ligne de force magnétique rectiligne, sans que sa tension soit infiniment grande.

On remarque aussi que R ne devient nul que si H est infini : c'est-à-dire qu'un fil, siège d'une tension longitudinale finie, ne pourra prendre une courbure infinie qu'aux points où l'intensité du champ est infinie.

12. *Seconde courbure du fil.* — On sait que le rayon de torsion ou de seconde courbure de la courbe est exprimé par la relation

$$T = \pm \frac{1}{R^2 \begin{vmatrix} x' & y' & z' \\ x'' & y'' & z'' \\ x''' & y''' & z''' \end{vmatrix}}, \qquad (11)$$

T étant une quantité essentiellement positive.

En règle générale, on voit que T sera nul quand R sera infini, c'est-à-dire *qu'aux points d'inflexion du fil, la torsion sera infinie.*

Le déterminant

$$\Delta = \begin{vmatrix} x' & y' & z' \\ x'' & y'' & z'' \\ x''' & y''' & z''' \end{vmatrix}$$

peut prendre une forme intéressante.

Les équations (8) donnent en effet

$$x'' = -\frac{i}{F}\left(Mz' - Ny'\right),$$

d'où l'on déduit,

$$x''' = -\frac{i}{F}\left(Mz'' - Ny'' + M'z' - N'y'\right),$$

$$= \frac{i^2}{F^2}\left(ML y' - M^2x' - N^2x' + NLz'\right) - \frac{i}{F}\left(M'z' - N'y'\right),$$

Digitized by Google

$$= \frac{i^3}{F^3}\left[L\,(Lx' + My' + Nz') - x'\,(L^2 + M^2 + N^2)\right] - \frac{i}{F}\left(M'z' - N'y'\right),$$

ou, comme

$$Lx' + My' + Nz' = H\cos\theta,$$
$$L^2 + M^2 + N^2 = H^2,$$
$$M' = mH' + m'H,$$

on aura

$$x''' = \frac{i^2H^2}{F^2}\left(l\cos\theta - x'\right) + \frac{H'}{H}x'' - \frac{iH}{F}\left(m'z' - n'y'\right),$$

et pour y''' et z''' des expressions analogues.

En vertu des propriétés des déterminants nuls, nous obtiendrons

$$\Delta = \frac{i^3H^3}{F^3}\cos\theta\begin{vmatrix} x' & y' & z' \\ x'' & y'' & z'' \\ l & m & n \end{vmatrix} - \frac{iH}{F}\begin{vmatrix} x' & y' & z' \\ x'' & y'' & z'' \\ m'z' - n'y' & n'x' - l'z' & l'y' - m'x' \end{vmatrix}. \qquad (12)$$

Le premier terme est égal à

$$\frac{i^3H^3}{F^3}\cos\theta\left[x''(mz' - ny') + y''(nx' - lz') + z''(ly' - mx')\right],$$

ou, en vertu des équations (8),

$$-\frac{i^3H^3}{F^3}\cos\theta\sin^2\theta,$$

Le second terme de Δ devient

$$-\frac{iH}{F}\left[x''(n'x'z' - l'z'^2 + l'y'^2 + m'y'x') + \text{etc.}\right],$$

ou

$$-\frac{iH}{F}\left\{x''\left[x'(l''x' + m'y' + n'z') - l'x(x'^2 + y'^2 + z'^2)\right] + \text{etc.}\right\},$$

ou bien, puisque

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = 1,$$

et

$$x'x'' + y'y'' + z'z'' = 0,$$

on aura

$$-\frac{iH}{F}\left[(l'x' + m'y' + n'z')(x'x'' + y'y'' + z'z'') - (l'x'' + m'y'' + n'z'')\right],$$
$$= +\frac{iH}{F}\left(l'x'' + m'y'' + n'z''\right).$$

En remplaçant encore x'', y'', z'' par leurs valeurs déduites du système (8), ce terme devient

$$-\frac{i^3H^3}{F^3}\left[x'(nm' - mn') + y'(ln' - nl') + z'(ml' - lm')\right].$$

Cette expression peut être interprétée géométriquement ainsi qu'il suit.

Les quantités l, m, n étant les cosinus directeurs de la ligne de force magnétique passant par le point s de la courbe, les quantités correspondantes pour le point infiniment voisin $(s + ds)$ seront

$$\frac{l + l'ds}{\sqrt{(l + l'ds)^2 + (m + m'ds)^2 + (n + n'ds)^2}}$$

etc.

Les cosinus directeurs d'une droite perpendiculaire aux deux lignes de force infiniment voisines seront donc proportionnels aux quantités

$$m(n' + n'ds) - n(m' + m'ds) = (mn' - nm')ds,$$

et la quantité

$$\frac{x'(mn' - nm') + \text{etc.}}{\sqrt{(mn' - nm')^2 + \text{etc.}}}$$

sera proportionnelle au cosinus de l'angle ε que fait la tangente à la courbe avec la direction perpendiculaire aux deux lignes de force infiniment voisines.

D'ailleurs

$$(mn' - nm')^2 + \text{etc.} = l'^2 + m'^2 + n'^2 - (ll' + mm' + nn')^2,$$

en vertu de l'égalité

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1,$$

et comme, en vertu de cette même relation,

$$ll' + mm' + nn' = 0$$

on obtiendra

$$\frac{x'(mn' - nm') + \text{etc.}}{\sqrt{l'^2 + m'^2 + n'^2}} = \cos\varepsilon, \qquad (13)$$

Digitized by Google

et par conséquent, le second terme de Δ se réduira à

$$-\frac{i^2H^2}{F^2}\cos\varepsilon\sqrt{l'^2+m'^2+n'^2}$$

et le rayon de torsion sera représenté par l'expression

$$T=\pm\frac{1}{R^2\left[\frac{i^3H^3}{F^3}\cos\theta\sin^2\theta+\frac{i^2H^2}{F^2}\cos\varepsilon\sqrt{l'^2+m'^2+n'^2}\right]},$$

ou encore, en remplaçant R par sa valeur déduite de l'équation (10)

$$T=\pm\frac{1}{\frac{iH}{F}\cos\theta+\frac{\cos\varepsilon}{\sin^2\theta}\sqrt{l'^2+m'^2+n'^2}}. \qquad (14)$$

12. *Cas particulicrs.* — Cette expression se simplifiera quand le second terme du dénominateur disparaîtra, ce qui aura lieu dans deux cas :

1° Si

$$l'^2+m'^2+n'^2=0,$$

ce qui entraîne séparément

$$l'=m'=n'=0,$$

ou

$$l=C^{te},\qquad m=C^{te},\qquad n=C^{te},$$

c'est-à-dire qu'alors toutes les lignes de force ont leurs tangentes parallèles aux points où elles s'appuient sur la courbe. Ce cas sera réalisé notamment si la direction de la force magnétique H est constante dans toute l'étendue du champ.

2° si $\cos\varepsilon=0$, c'est-à-dire si l'angle ε est droit. Or, cet angle sera droit si le plan tangent au tube de force au point *s*, qui renferme la tangente à la courbe et la tangente à la première ligne de force, renferme aussi la tangente à la ligne de force infiniment voisine, c'est-à-dire si deux lignes de force consécutives s'appuyant sur la courbe déterminent par leurs tangentes aux points d'appui le plan tangent à la surface du tubè de force embrassé par la courbe.

Cette condition sera réalisée notamment si les lignes de force sont rectilignes et sont les génératrices d'un tube de force développable ; ce dernier cas comprenant celui où la direction de la force magnétique est constante dans toute l'étendue du champ.

Dans l'un ou l'autre des cas particuliers qui viennent d'être examinés, la valeur du rayon de torsion se réduira simplement à

$$T=\pm\frac{F}{iH\cos\theta} \qquad (15)$$

En combinant cette expression avec l'équation 10, on obtient alors

$$\frac{T}{R}=\pm\operatorname{tg}\theta \qquad (16)$$

le signe — correspondant au cas où le cosinus de θ est positif.

13. *Cas où la courbe est une hélice tracée sur un cylindre.* — Si, dans l'un des cas particuliers ci-dessus, l'angle θ est constant, on aura

$$\frac{T}{R}=C^{te} \qquad (17)$$

et, en vertu d'un théorème connu, la courbe est une hélice tracée sur un cylindre à base quelconque, la nature de cette base étant déterminée par les autres conditions du problème.

14. *Extension de la théorie précédente au cas où le champ et le courant varient en fonction du temps suivant une certaine loi.* — Si les quantités *i* et H varient en fonction du temps, la forme d'équilibre ne sera pas modifiée si le produit *i*H conserve son signe, c'est-à-dire si les quantités *i* et H ne changent pas de sens, ou changent de sens simultanément. La tension longitudinale F du fil variera comme le produit *i*H.

Supposons par exemple que H soit de la forme

$$\mathcal{H}\sin pt,$$

p étant une constante, et *i* de la forme

$$I\sin pt.$$

La forme d'équilibre ne se modifiera pas, mais la tension F variera comme le produit.

$$I\mathcal{H}\sin^2 pt=\frac{I\mathcal{H}}{2}\left(1-\cos 2pt\right);$$

Digitized by Google

Elle aura donc une fréquence double de celle du courant et du champ, et elle restera toujours positive.

Dans les cas où le produit iH changera de signe, la tension F ne pouvant devenir négagative, la forme d'équilibre se modifiera brusquement, et le fil conducteur tendra à sauter de l'une des formes d'équilibre à l'autre forme, chaque fois que la fonction iH passera par la valeur o.

On pourrait de la sorte déterminer des oscillations du fil, le mouvement du réel fil subissant, par rapport aux variations de la fonction iH, un certain retard dû à son inertie et à sa raideur.

(*A suivre.*)

Os. COLARD,

Ingénieur au service technique des Télégraphes de Belgique.

SUR LES APPLICATIONS POSSIBLES DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE A LA PRODUCTION DE COMPOSÉS ORGANIQUES

Nous prenons pour point de départ le carbure de calcium obtenu récemment dans le four électrique. Nos lecteurs ont été mis au courant des propriétés de ce corps et des principales données relatives à sa préparation industrielle par une revue parue dernièrement dans ce journal (1). Nous voudrions seulement, en nous basant sur les quelques chiffres indiqués dans cette Revue, insister sur les points les plus intéressants au point de vue industriel.

L'intérêt qui s'attache à la production à bon compte du carbure de calcium repose, pour l'instant, en entier sur la propriété que possède ce corps de décomposer l'eau à froid, en donnant lieu à un dégagement d'acétylène, hydrocarbure susceptible d'applications importantes dont nous allons envisager quelques-unes.

Rappelons d'abord que d'après les expériences du professeur Lewes ce gaz, brûlé dans un bec consommant 140 litres à l'heure, donne une puissance lumineuse de 240 bougies, alors que le gaz d'éclairage ordinaire ne fournit dans les mêmes conditions que 16 bougies. L'acétylène est donc 15 fois plus éclairant que le gaz ordinaire; celui-ci doit d'ailleurs son pouvoir éclairant en grande partie aux 4 ou 5 p. 100 d'acétylène qu'il contient, le méthane qui entre dans sa composition pour 30 à 35 p. 100 n'ayant dans le bec normal qu'un pouvoir éclairant de 5 bougies.

Pour brûler l'acétylène dans un bec ordinaire, Willson le mélange avec une forte proportion d'air ; mais ce procédé n'est pas sans inconvénient, parce qu'il se forme des mélanges facilement explosibles. Le professeur Lewes a d'ailleurs montré que l'acétylène peut être brûlé directement avec une flamme non fuligineuse dans un bec de forme spéciale.

Comme 1 mètre cube d'acétylène reviendrait à 25 centimes environ, le volume de gaz fournissant autant de lumière que 1 mètre cube de gaz d'éclairage ordinaire reviendrait à moins de 2 centimes. Ce prix n'englobe pas différents facteurs, tel que l'amortissement, qui peuvent être importants. Mais triplons le prix et nous sommes encore bien au-dessous du prix de revient de l'éclairage au gaz. Faut-il en conclure que l'acétylène est appelé à remplacer dès maintenant le gaz de houille et à rendre ainsi sans valeur les capitaux engagés dans cette industrie? Nous ne le pensons pas; mais il est à peu près certain que l'acétylène produit à l'aide du carbure de calcium servira d'ici peu à enrichir le gaz ordinaire et à diminuer le coût de l'éclairage, ce qui ne manquera pas de créer un obstacle de plus à l'extension de l'éclairage électrique. Et notez que les compagnies de gaz, dont les efforts tendent à trouver un débouché dans les applications des moteurs à gaz, auraient un moyen certain pour atteindre ce but en distribuant un gaz pauvre au point de vue

(1) Voir l'*Eclairage électrique* du 19 janvier 1895, p. 126.

Digitized by Google

éclairant, mais qui, vendu à bas prix, conviendrait aux moteurs à gaz et au chauffage. Le consommateur disposerait d'appareils à acétylène, pour donner au gaz le pouvoir éclairant désiré.

Pour l'éclairage domestique, principalement à la campagne, nous n'avons encore rien de plus économique que la lampe à pétrole. La lampe portative électrique ou à gaz vraiment pratique n'existe pas, Or, le carbure de calcium donnerait la possibilité de produire le gaz combustible dans le corps même de la lampe, et l'éclairage obtenu serait encore plus économique qu'avec le pétrole. Si la production industrielle du carbure de calcium se réalisait, nous aurions donc très probablement des lampes à acétylène. D'ailleurs, dans les maisons de campagne, l'installation d'un petit gazomètre de 1 mètre cube occasionnerait peu de frais et permettrait d'avoir toujours une réserve de plus de 1.500 bougies-heures. Employé de cette façon, l'acétylène serait appelé à remplacer le gaz d'huile pour l'éclairage des voitures de chemins de fer.

En dehors des doutes qui peuvent exister sur l'exactitude des calculs sur lesquels on a basé l'évaluation du prix de revient, on fait à l'emploi de l'acétylène un certain nombre d'objections. Les propriétés toxiques de ce gaz équivalent à celles de l'oxyde de carbone; mais à l'encontre de ce dernier, sa présence, même en quantité infime, se révèle par une odeur forte et désagréable.

La chaleur dégagée par la combustion de l'acétylène est trois ou quatre fois supérieure à celle que produit la lampe à incandescence, pour le même éclairage, mais d'autre part, une vingtaine de fois inférieure à celle que donne le gaz ordinaire. En outre, le volume des produits de combustion est quatre fois moins considérable avec l'éclairage à acétylène qu'avec le gaz.

Si l'industrie de l'éclairage doit se préoccuper dès maintenant de la possibilité d'utiliser le carbure de calcium et l'acétylène, le chimiste peut, à son tour, fonder quelques espérances sur la fabrication industrielle de ces corps.

On a rappelé déjà qu'en prenant pour intermédiaire l'éthylène et l'acide sulfovinique, on peut passer de l'acétylène à l'alcool. Si dans cette importante industrie on n'a pu jusqu'à présent suivre cette voie synthétique, c'est que la matière première était trop coûteuse. Sa production à l'aide du carbure de calcium pourrait bien ouvrir aux applications électriques un nouveau domaine. Tout au moins n'y a-t-il rien d'absurde dans cette conjecture ; les chiffres suivants en témoignent.

Dans l'industrie de l'alcool tiré de la fécule, on peut compter que 100 kg. de pommes de terre fournissent 6,6 kg. d'alcool absolu. Un hectare pouvant donner une récolte de 18.000 à 24.000 kg., fournit donc de 1.200 à 1.600 kg. d'alcool absolu. D'autre part, 1.000 kg. de carbure de calcium donnent 406 kg. d'acétylène qui fournissent 718 kg. d'alcool. Avec deux tonnes de carbure de calcium coûtant une centaine de francs la tonne, on obtiendrait donc à peu près la même quantité d'alcool qu'avec la récolte de pommes de terre d'un hectare. Il va sans dire qu'une foule d'autres facteurs doivent intervenir dans la comparaison des prix de revient, et qu'il n'y a pas, dès aujourd'hui, possibilité d'être fixé sur leur grandeur relative.

Aussi ne peut-on encore préjuger l'importance des transformations industrielles, si tant est qu'il doive s'en produire, que ces produits directs ou indirects du four électrique peuvent amener. Qu'on nous permette seulement quelques réflexions sur ce qui touche plus directement l'électricité.

Admettons que l'acétylène soit employé exclusivement à l'éclairage. Quel sort ferait-on aux stations centrales d'éclairage électrique ? Dans la concurrence il aurait sur l'électricité l'avantage énorme du bon marché, et d'un autre côté les inconvénients habituels au gaz ordinaire, qu'une génération entière a subis sans se plaindre. Mais l'électricité a pour elle tous ceux qui tiennent à observer les règles de l'hygiène et à faire pour cela des sacrifices,

Digitized by Google

sans compter l'accoutumance à bien des commodités comme celle de l'allumage facile.

Un cheval-heure électrique donne, en passant par l'intermédiaire de l'acétylène, 250 bougies-heures. Dans les lampes à incandescence, la même quantité d'énergie donne, à raison de 3,5 wats par bougie, 210 bougies-heures, et à raison de 3 watts par bougie, 245 bougies-heures. Dans l'éclairage électrique comme dans la fabrication de l'acétylène, la force motrice serait donc à peu près la même pour obtenir le même effet d'éclairage. Mais nos stations centrales font payer au consommateur, non pas seulement la force motrice, mais aussi les frais d'amortissement de leur matériel, frais considérables parce qu'ils sont concentrés sur le petit nombre d'heures d'activité journalière des stations. Dans la fabrication de l'acétylène, au contraire, comme d'ailleurs dans celle du gaz d'éclairage ordinaire, ces frais se répartissent uniformément sur la journée entière et sont, par conséquent, moindres par unité produite. D'où la différence dans les prix de revient.

On a prétendu qu'en prenant elles-mêmes en mains la fabrication du carbure de calcium, les stations centrales pourraient se créer une occupation de jour avantageuse. Mais, dans ce cas, ces usines créeraient par leur travail de jour une concurrence désastreuse à leur travail de nuit, ce qui n'est guère admissible, car le réseau de distribution fait partie intégrante de la station centrale qui doit rémunérer le capital qu'il représente. D'ailleurs, des usines à carbure de calcium établies près des sources de force motrice, dans les régions houillères ou sur les chutes d'eau se trouveraient dans de bien meilleures conditions de production.

La station centrale telle qu'elle est ne peut avoir d'autre but que la distribution de l'énergie électrique. La concurrence de l'acétylène venant s'ajouter à celle du bec Auer, ne pourrait que contribuer au progrès de l'éclairage électrique, parce qu'elle constituerait en quelque sorte une prime créée à tout perfectionnement dans les procédés et le matériel de l'électricité. Quand on songe qu'avec les données encore bien incertaines relatives à son nouveau procédé, l'Américain Willson a pu former une compagnie (l'*Electric Gaz Company*) pour la fabrication de l'acétylène, on peut espérer que sur le domaine de l'électricité l'esprit d'invention recevra aussi bon accueil.

Quant au carbure de calcium, si sa fabrication peut ouvrir à l'industrie électrique une porte de la grande industrie chimique, nous n'aurons qu'à nous en féliciter.

A. HESS.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Droite caractéristique des propriétés d'un accumulateur, par Carl Hering (1).

En traçant avec les résultats d'essais faits sur un accumulateur les courbes des différents facteurs, l'auteur a trouvé que certaines relations sont représentées par des droites caractéristiques. Il est probable que les résultats diffèrent selon le type d'accumulateur, et chaque constructeur trouvera pour le type particulier qu'il construit des courbes qui tendront plus ou moins vers une droite.

Dans les expériences de l'auteur, l'accumulateur a été déchargé à différents régimes depuis la décharge la plus rapide jusqu'à la plus lente, après avoir été chaque fois chargé à fond. La décharge était considérée comme terminée quand la différence de potentiel avait diminué d'une fraction donnée de la différence de potentiel initiale mesurée quelques minutes après le début de la décharge. Le courant de décharge était maintenu constant par un réglage de la résistance extérieure. Il aurait peut-être été plus correct de maintenir constante la puissance de la décharge, ce qui aurait toutefois été difficile ; et d'ailleurs la différence

(1) *The Electrical World.*

Digitized by Google

dans les résultats de ces deux modes opératoires est probablement négligeable.

La courbe que l'on construit habituellement est celle qui relie la capacité de l'élément à la durée de la décharge, mais comme cette courbe diffère beaucoup d'une droite, il est assez compliqué de l'exprimer par une formule commode pour le calcul. Mais si, au lieu de prendre les *temps* pour abscises, on choisit la puissance en *watts* de la décharge, les ordonnées étant les capacités en *watts-heures*, la courbe, pour le type particulier d'accumulateur essayé par l'auteur, est à 2 p. 100 près une droite de la forme générale :

$$\text{watts-heures} = a - b \text{ watts},$$

dont les constantes ont pour valeur, dans ce cas particulier, $a = 228$ et $b = 0{,}272$. Cette relation permet de calculer aisément la capacité pratique de l'élément pour chaque régime de décharge.

Pour un accumulateur théoriquement parfait, ayant une capacité constante et pas de résistance intérieure, cette ligne serait non seulement droite, mais encore horizontale. L'inclinaison de la ligne obtenue indique donc jusqu'à quel point l'élément approche de la perfection.

L'équation précédente permet aussi de déterminer la durée d'une décharge à un régime donné. En divisant par la puissance on a en effet :

$$\text{durée en heures} = \frac{a}{\text{watts}} - b.$$

La courbe reliant la capacité en ampères-heures au courant de décharge en ampères est de forme analogue, mais ne se rapproche pas tant d'une droite; pour d'autres types d'accumulateurs il est possible qu'elle affecte cette dernière forme.

Comme on demande souvent la capacité pour un régime donné, la relation indiquée peut être utile à ceux qui s'occupent d'accumulateurs. Il suffit, en effet de noter les deux constantes de l'équation.

A. H.

Ampèremètre Nalder.

Entre les pôles d'un aimant permanent A, (fig. 1,2,3), pivote une bobine D, sur pointes EE. Les extrémités du fil de la bobine aboutissent, par les ressorts FF aux contacts CC, situés dans l'axe de rotation, sur les noyaux HH reliés respectivement aux bornes LL, directement

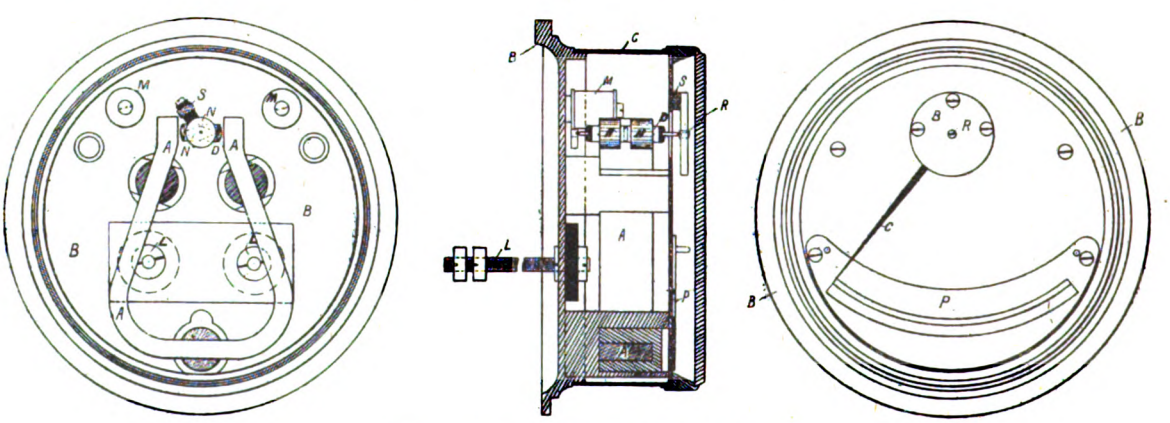


Fig. 1, 2 et 3. — Ampèremètre Nalder.

ou par des résistances MM. La bobine D porte un aimant N et une aiguille O. Quand le courant passe en D il tend à l'orienter perpendiculairement à AA malgré N proportionnellement à son intensité.

Les figures 5 et 6, qui s'expliquent d'elles

Digitized by Google

mêmes, représentent deux variantes fort simples de la disposition des ressorts de contact FF.

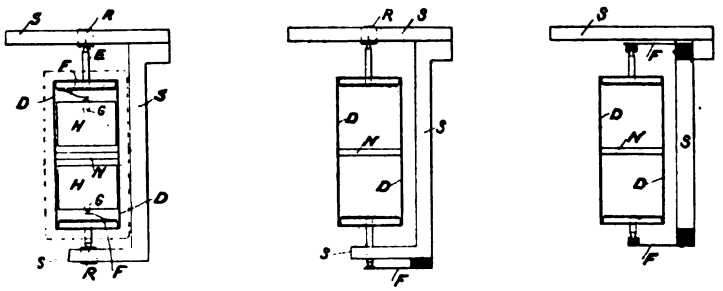


Fig. 4, 5 et 6. — Différentes dispositions des ressorts de contact.

L'appareil fig. 7 et 8 a pour objet l'enregistrement des intensités maxima et minima.

Le courant amené en NN traverse les bobines BB d'un électro-aimant $A_1A_2A_1$ au pôle AA de part et d'autre d'un barreau de fer doux C à aiguille E et ressort C, et immergés dans un bain d'huile H. L'aiguille F entraîne avec

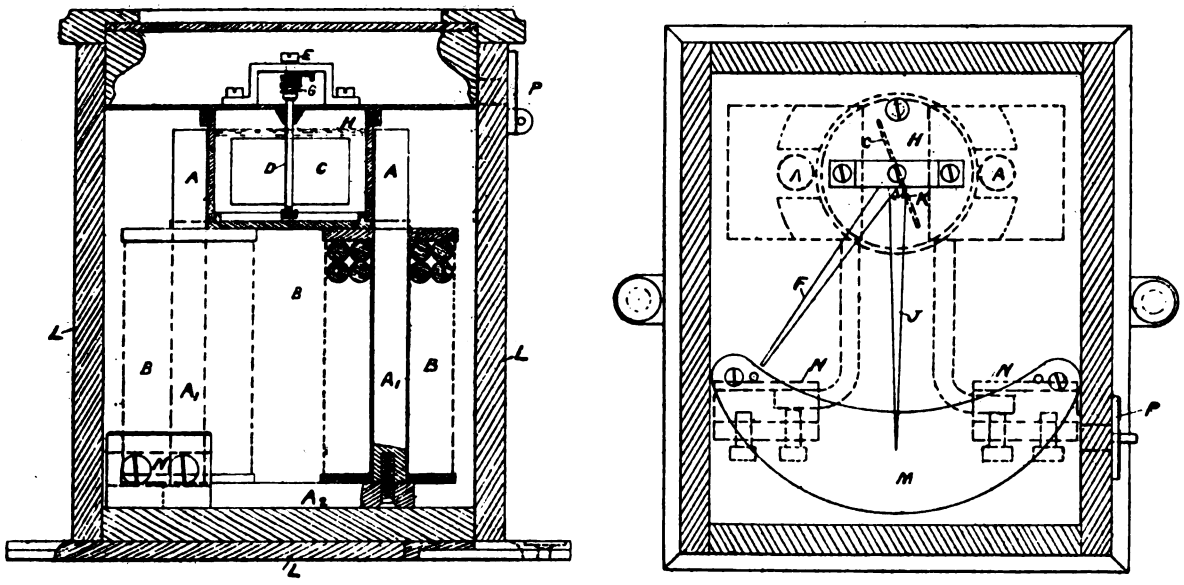


Fig. 7 et 8. — Ampèremètre enregistreur des intensités maxima et minima.

elle l'aiguille folle KJ sur le quadrant M, qui indique ainsi le courant maximum, et que l'on peut ramener à sa position primitive par le regard P. L'amorcissement par l'huile H fait que le lancé de J est presque nul.

G. R.

Expériences avec une pile au charbon, par G. Schmitz.

A côté des piles du genre de l'élément Borchers cherchant à utiliser l'action de l'oxygène sur les gaz combustibles, il faut ranger les essais faits pour l'emploi direct du charbon comme électrode attaquable. Jablochkoff proposa de brûler du charbon dans des nitrates

Digitized by Google

alcalins en employant du fer comme pôle négatif. Récemment, M. G. Schmitz (1) a fait quelques expériences avec cette pile.

Un mélange de nitrates de soude et de potasse était maintenu en fusion dans un creuset en fer, au-dessus d'un bec Bunsen. Dans la masse en fusion plongeait comme pôle positif un crayon de charbon tandis que le pôle négatif était formé par le creuset lui-même. On a essayé différentes sortes de charbon : 1. charbon de bois, 2. anthracite, 3. charbon de cornue, 4. charbon de lampe à arc, 5. graphite.

Les substances 1, 2 et 3 ne pouvaient être utilisées, parce qu'à une certaine température elles s'enflamment dans le nitre. Le graphite se comporte différemment, il n'est pas attaqué et ne donne pas de courant.

C'est le charbon de lampe à arc qui a donné les meilleurs résultats. Il ne s'enflamme pas dans le nitre même à 800°. Mais vers 400 à 500° il se produit un dégagement gazeux très vif qui devient encore plus abondant lorsqu'on ferme le circuit extérieur.

Le courant observé, correspondant à une force électromotrice d'environ 1 volt, est d'un sens qui montre que le charbon joue ici le même rôle que le zinc dans une pile ordinaire. Le fer du creuset n'est pas attaqué. La production de chaleur par l'attaque du charbon est si faible qu'il faut chauffer constamment pour tenir le sel en fusion, tandis qu'avec les autres sortes de charbon essayées la combustion donne assez de chaleur pour empêcher la solidification du nitre.

Il semblerait donc qu'en cherchant dans cette voie, on puisse obtenir des résultats satisfaisants au point de vue de la combustion « froide » du charbon.

A. H.

Phénomènes d'électrolyse par les courants de retour des tramways électriques en Amérique, par Rowland.

A propos de ces phénomènes actuellement à l'ordre du jour en Amérique, le professeur Rowland fournit dans l'*Electrical World* quelques données qui, si élémentaires qu'elles soient, ont besoin d'être rappelées de temps à autre pour ramener les esprits dans la voie droite ou les empêcher de s'égarer.

J'ai fait, dit-il, dans ces derniers mois, un grand nombre de mesures de différences de potentiel entre des rails et des conduites d'eau sur différentes lignes à trolley de New-York et d'ailleurs. Les résultats que j'ai obtenus ont été tout à fait analogues à ceux déjà publiés ; ils varient de zéro à 0,7 volt sur des lignes tout récemment installées avec les plus modernes jonctions de rails et fils de retour auxiliaires. La plupart des mesures prises sur ces lignes ne donnent cependant pas beaucoup plus de 0,15 volt.

L'action électrolytique dans le sol, dont les sels qu'il contient sont dissociés et agissent chimiquement sur les tuyaux et sur les rails, doit suivre les lois générales de l'électrolyse qui indiquent que la décomposition est proportionnelle à l'intensité du courant mis en circulation. Une simple mesure de différence de potentiel entre ces électrodes ne donne aucune idée de ce courant, à moins qu'on n'admette dans tous les cas R comme négligeable ou sensiblement telle ; en effet, d'après la loi d'Ohm, I peut être grande ou faible suivant que R est petite ou considérable. De sorte que, là où existent les différences de potentiel les plus élevées, on peut avoir le courant le moins intense et la plus faible action électrolytique.

L'important est donc de connaître l'intensité de courant qui, dans le sol, passe des rails aux conduites ou inversement.

Une fois, à l'extrémité d'une ligne suburbaine la plus éloignée de la station génératrice et où il n'existait aucun réseau souterrain de conduites d'eau ni de gaz, j'ai trouvé une différence de potentiel de 10 volts entre les rails et un poteau en fer planté dans le sol. Évidemment ce n'était pas là l'indication d'une grande intensité de courant, car il n'y avait qu'une seule voiture sur une longueur de plus de 1,5 km, et le poteau pouvait ne participer en rien au retour par la terre.

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift.*

Digitized by Google

Recourir à un conducteur auxiliaire s'étendant sur toute la longueur du parcours à protéger et relié aux rails pour prévenir l'action électrolytique, revient simplement à donner une meilleure conductance au trajet de retour, ou à diminuer la résistance de la ligne comparativement à celle de la terre. C'est évidemment l'ordre d'idées dans lequel il faut chercher, puisque le courant se partage en raison inverse des résistances qui lui sont offertes. Je crois cependant inutile d'en arriver à la dépense de ces conducteurs auxiliaires massifs, sauf dans des cas tout particuliers. Les rails de 40 kg., aujourd'hui si généralement employés dans la construction des tramways de villes, ont une section droite de 57,5 cm². Si l'on considère une ligne à voie unique et qu'on admette pour le fer une résistance égale à sept fois celle du cuivre de même section, la résistance de la voie serait de 0,011 ohm par km. (abstraction faite des goujons de rails), ce qui, à raison d'un courant de 200 ampères, déterminerait une chute de potentiel de 2,2 volts par km.

Le goujon de rail (on appelle ainsi la tige de fer qui, pénétrant dans les deux extrémités voisines de deux rails consécutifs, les relie électriquement entre eux) est l'élément du circuit de retour qui mérite le plus d'attention. Il existe à ma connaissance deux genres au moins de goujons qui, dans des conditions de pose ordinaires, n'ont pas une résistance supérieure à 0,00004 ohm chacun, et qui, montés avec soin, peuvent en présenter une encore beaucoup moindre. Si l'on admet 110 joints par km., on a ainsi pour deux rails une résistance de joints de 0,00220 ohm et une chute de potentiel résultante de 0,45 volt par km. pour un courant de 200 ampères. La résistance totale par km. est alors de 0,01319 ohm, correspondant à une chute de potentiel sur le rail, de retour de 2,63 volt par km. pour une intensité de 200 ampères.

D'autre part, pour donner le plus de résistance possible au retour par la terre, il suffit de noyer les joints et les rails dans du béton ou du caillou concassé, de manière à établir une mauvaise connexion avec le sol, et de supprimer sur tout le réseau les assises sur plaques métalliques.

E. B.

Pulvérisateur de la Société électrique de Crelnhausen.

Ce pulvérisateur est destiné à la pulvérisation des métaux fusibles, principalement à celle du plomb pour accumulateurs.

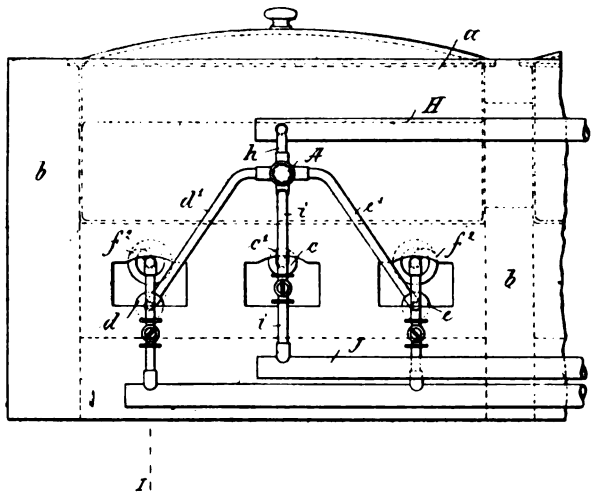


Fig. 1. — Coupe transversale, vue en bout.

Le plomb, maintenu fondu en *a* (fig. 1 à 4) par

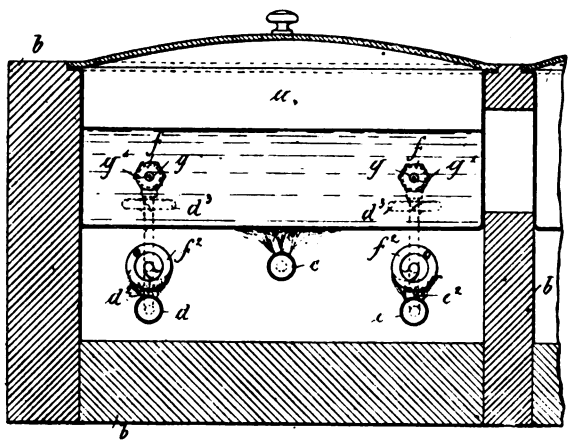


Fig. 2. — Coupe longitudinale.

des rampes de gaz *cde*, est amené par deux tubes *g* à deux pulvérisateurs *f*, également chauf-

Digitized by Google

fés au gaz en d_3. L'air comprimé, nécessaire à la pulvérisation, arrive en f par le serpentin

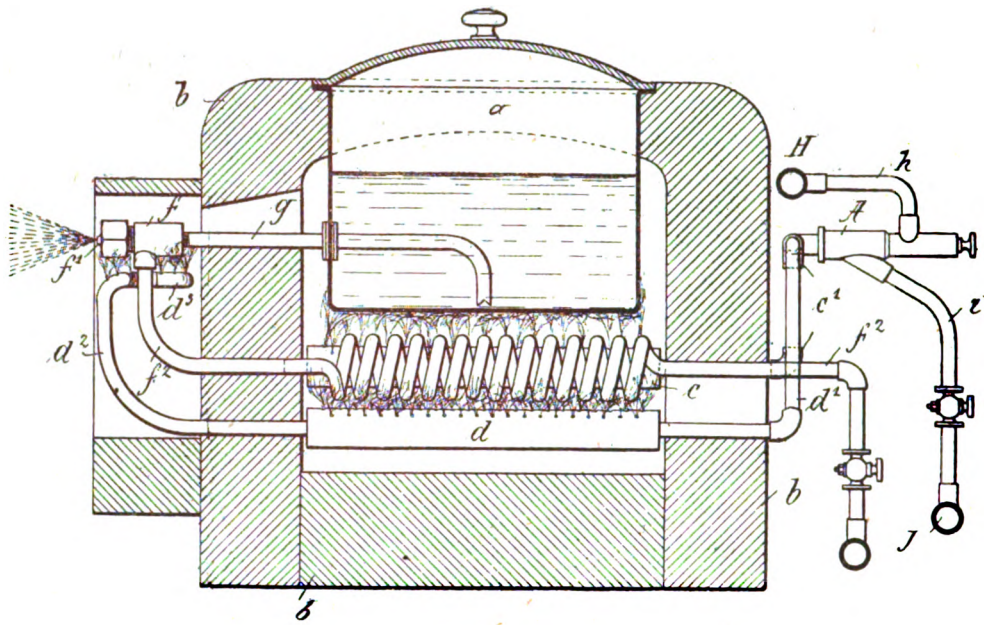


Fig. 3. — Pulvérisateur de la Société Crelnhausen.

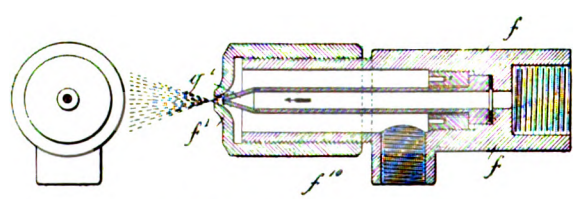


Fig. 4. — Détails du pulvérisateur.

chauffé f_2, et pulvérise le plomb par l'orifice annulaire g_1. Les rampes de gaz sont alimentées par un mélange, formé en A, de gaz amené par H*h* et d'air comprimé admis par J*i*.

G. R.

Accumulateurs (1894).

Hall. — Les plaques sont formées d'un corps en plomb *a* (fig. 1, 2 et 3), percé d'alvéoles *b* dans lesquelles sont insérées des spirales de plomb mince *c* recouvertes au besoin d'une pâte d'oxyde de plomb et qui présentent à l'attaque une grande surface.

Lehmann. — Le grillage des plaques est formé d'une série de gouttières *a* (fig. 4 et 5) remplies de la matière active *b* retenue par sa pénétration dans les trous *d*.

Southey. — Cet accumulateur se compose (fig. 6 et 7) d'une série de claies *a*, à quadrillage alvéolaire *bc* d'environ 15 mm. de côté. La matière active est tassée dans ces alvéoles, et l'on y enfonce des languettes de plomb *d*, puis on la laisse durcir avant sa formation. Cette

Digitized by Google

matière active ne doit pas dépasser le fond des alvéoles, elle doit même rester en retrait, ce que l'on obtient facilement en disposant les claies, pour leur remplissage, sur une forme à damier en relief. Pour assurer leur superposi-

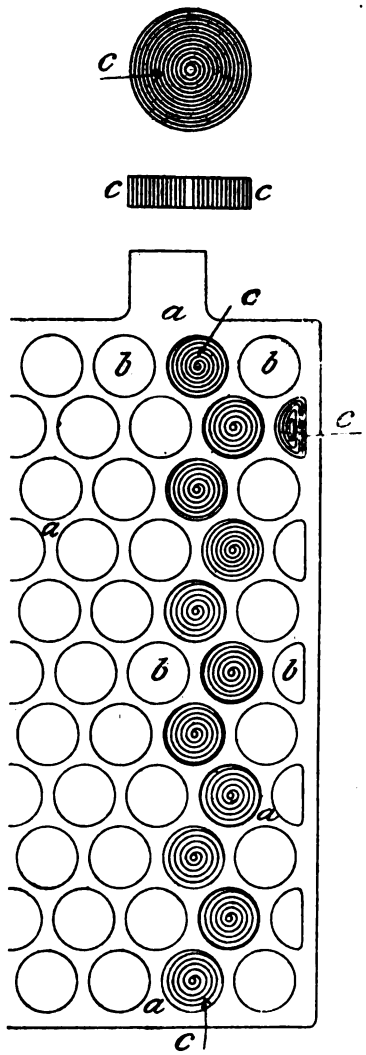


Fig. 1, 2, 3. — Accumulateur Hall (1894).

tion exacte, les claies sont pourvues de coins *e*, se projetant au-dessus de la matière active qui ne remplit que la moitié de l'épaisseur des claies, et qui règlent en même temps l'écartement *j* des claies. Le tout est solidement assemblé par le serrage des boulons *f* sur les brides *h* et la base en bois *g*. Les plaques ainsi formées, alternativement positives et négatives sont reliées: toutes les positives, par leurs lan-

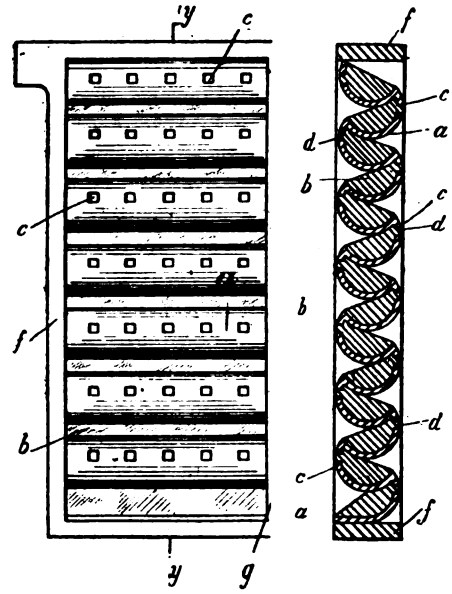


Fig. 4 et 5. — Accumulateur Lehmann (1894).

guettes *d* au conducteur *i*, et toutes les négatives à *k*.

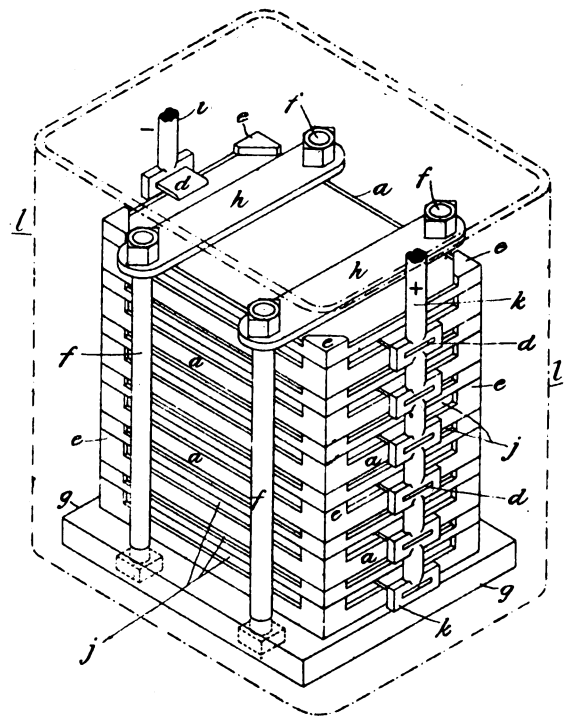


Fig. 6. — Accumulateur Southey (1894).

Wuillot. — Les plaques sont soumises à

Digitized by Google

l'action de l'acide carbonique, qui forme une couche de carbonate de plomb, puis on les soumet à l'action du courant dans un bain alcalin ammoniacal. Le carbonate de plomb se transforme au pôle négatif en un plomb spongieux, et au pôle positif en une pellicule d'oxyde de plomb très dure et consistante, pratiquement inaltérable. Cette formation en bain alcalin, plus rapide que celle en bain acide, aurait en

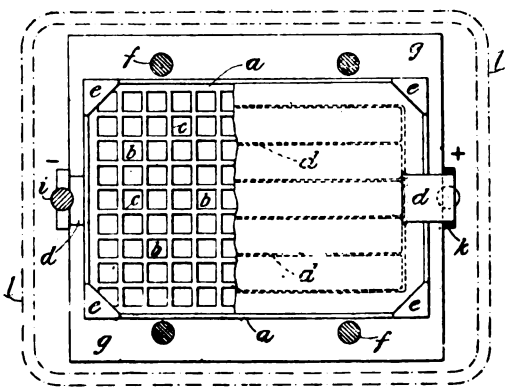


Fig. 7. — Accumulateur Southey (1894).

outre l'avantage de donner des plaques beaucoup plus robustes et durables.

G. R.

Sur le choix des chaudières à vapeur pour les usines électriques, par L'Hoest.

Dans une récente note sur l'installation de l'éclairage électrique dans les gares de chemins de fer, M. L'Hoest (1), en étudiant les différentes parties du matériel d'une usine, a indiqué les considérations qui doivent fixer le choix des générateurs. Nous en extrayons pour nos lecteurs les parties suivantes.

Les chaudières que l'on rencontre le plus souvent dans les usines électriques appartiennent à l'un des types suivants :

1° Chaudière à bouilleurs avec ou sans réchauffeur ;

2° Chaudière à foyer intérieur des types Cornwall ou Lancashire et Galloway ;

3° Chaudières multitubulaires genre Belleville, Babcock et Willcox, de Naëyer, etc. ;

4° Chaudières tubulaires.

Le premier des types énumérés est sans conteste le plus encombrant. Pour des puissances moyennes, il ne faut pas compter moins de 0,4 de la surface de chauffe comme surface occupée par le massif, cheminée et carneaux extérieurs non compris.

Les chaudières à foyer intérieur occupent moins d'espace que les précédentes. Cependant, elles exigent encore un tiers de mètre carré par mètre carré de surface de chauffe ; il est vrai que dans celles-ci le mètre carré de chauffe est plus productif de vapeur que dans les premières.

Pour des surfaces de chauffe égales, les chaudières multitubulaires et les chaudières tubulaires occupent des emplacements sensiblement égaux en surface (1/10 en plus de la surface de chauffe) ; l'encombrement des premières, par rapport aux secondes, ne se manifeste qu'en hauteur, ce qui peut être indifférent dans nombre de cas.

Au point de vue de la production, ces types de chaudières ont des valeurs très différentes. L'allure modérée est la seule qui convienne au générateur multitubulaire ; si l'on pousse cette chaudière, son rendement baisse rapidement, son entretien est difficile, ses conditions de sécurité elles-mêmes deviennent mauvaises ; en règle générale, on ne doit guère dépasser, avec ces chaudières, une vaporisation de 13 kg. par mètre carré.

La chaudière tubulaire, au contraire, est le générateur élastique, capable de vaporiser dans des conditions économiques et sûres, des quantités d'eau variant de 6 à 60 kg. par mètre carré de chauffe. Avec un tirage modéré on peut produire aisément 15 à 18 kg. de vapeur au mètre carré.

Plus le volume d'eau est grand, plus le générateur, à égalité de puissance, est facile à conduire. La grande quantité des calories emmagasinées fait en quelque sorte l'office d'un volant, pour parer aux irrégularités et aux négligences dans la conduite du feu.

(1) Association des anciens élèves de l'Institut Montefiore.

Digitized by Google

On conçoit donc que ce sont précisément les chaudières les plus encombrantes, c'est-à-dire à grande masse d'eau, qui seront les plus faciles à desservir. C'est dans les deux premières classes de chaudières qu'il faudrait choisir un générateur dont la conduite serait confiée à des chauffeurs peu expérimentés.

Au point de vue de l'entretien, il faut considérer un élément très important, la nature de l'eau d'alimentation. Tandis qu'avec de bonnes eaux, l'entretien des chaudières tubulaires n'a rien de particulièrement dispendieux, il devient tel avec des eaux très incrustantes, qu'il suffit à faire renoncer à l'emploi de ce type. Malgré les lavages répétés deux ou trois fois par mois, les tubes sont rapidement cimentés dans la masse incrustante, les parois du foyer se remplissent d'un vrai béton, les tôles se gondolent, les joints fuient, le rendement tombe et la sécurité est sérieusement compromise.

Dans ces conditions extrêmes, les générateurs les plus simples de construction sont les seuls recommandables. La chaudière à bouilleurs et à réchauffeur sera donc indiquée si l'emplacement est suffisant. Le réchauffeur, qui fait office de déjecteur et précipite une notable partie des matières salines, peut être remplacé par une alimentation en cascade dans la chambre de vapeur ; ce mode d'alimentation délaie dans la masse d'eau les substances précipitées avant qu'elles aient pu s'agglomérer et adhérer aux parois.

On s'entend peu sur la définition du rendement d'une chaudière. Théoriquement, ce serait le rapport de la chaleur acquise par la vapeur sèche produite à la chaleur développée par le charbon brûlé au foyer. Pratiquement on caractérise le rendement par le rapport en poids de la vapeur produite et du combustible brut ou net consommé.

Ce rapport n'a pas grande signification. A chaque allumage, il faut réchauffer l'eau du générateur, ainsi que le générateur lui-même et le massif de maçonnerie. Or, la dépense de combustible pour la mise en train est importante et nullement négligeable dans l'établissement du prix de revient. Le rendement d'une chaudière dépend donc notamment de la durée de son service journalier et des pertes de chaleur qu'elle éprouve pendant son temps de repos.

Les chaudières tubulaires fournissent 7,5 kg. de vapeur par kilogramme de combustible brut ; les autres chaudières à foyer intérieur ont un rendement presque égal. Les générateurs multitubulaires viennent ensuite, suivis de près par les chaudières à bouilleurs, pour lesquelles on ne doit guère compter plus de 6 kg. de vapeur produite par kilogramme de charbon,

Le charbon dont il s'agit ici est un menu mi gras contenant 15 à 20 p. 100 de cendres.

Pour les hautes pressions de marche, les enduits calorifuges sont peu à conseiller parce qu'ils dissimulent les défauts des tôles extérieures, jusqu'à ce que les fuites aient suffisamment agi pour détacher la couche d'enduit au point où elles se produisent.

Le mieux est de garnir les chaudières d'enveloppes légères en tôle de 2 mm. laissant un matelas d'air de 3 cm. environ. Ces enveloppes doivent être bien étanches, particulièrement vers le haut, afin d'éviter la formation de courants d'air ascensionnels.

Dans un service d'éclairage, tous les appareils généraux comportent, en principe, une réserve. Pour les chaudières, cette réserve est d'ailleurs nécessaire au point de vue de l'entretien et des lavages.

Lorsque la surface de chauffe calculée pour le moment du travail maximum n'est pas supérieure à 120 m², on se contente de prévoir deux chaudières de même puissance, dont une constitue la réserve.

En général, on ne chauffe qu'une des deux chaudières ; cette pratique ne se justifie que dans les petites installations. Dans les autres, il y a intérêt à faire fonctionner simultanément les deux chaudières en modérant à suffisance l'allure de chacune d'elles. L'élasticité de production de la chaudière tubulaire est telle que son rendement reste constant entre des limites de vaporisation très écartées. La marche simultanée ne nuit donc pas à

Digitized by Google

l'économie; elle présente le grand avantage de tenir la chaudière de réserve en pression, de telle sorte que, par la simple fermeture de la prise de vapeur d'une chaudière subitement avariée, l'autre continue, sans interruption, l'alimentation des machines.

Il ne paraît pas avantageux d'employer des unités supérieures à la chaudière de 120 m² de chauffe; si une surface de chauffe plus grande est nécessaire, on prendra donc plusieurs unités, ce qui permettra d'ailleurs de réduire à la moitié du nombre des chaudières en service, celui des chaudières de réserve. Dans les grandes installations, la proportion de la réserve peut être encore abaissée.

Lorsque plusieurs chaudières doivent nécessairement être allumées ensemble pour le service, il est inutile de tenir tout ou partie de la réserve en pression. Il suffit de pourvoir les chaudières de moyens propres à accroître leur production dans une large proportion.

Tels sont les appareils à vent soufflé.

Le souffleur sous grille de Koerting est simple et sûr, mais il est très bruyant, ce qui est un inconvénient sérieux dans une usine électrique.

Le ventilateur mû par turbine à vapeur ou par moteur électrique, certainement plus silencieux, par contre est plus délicat de construction et d'installation; mais le personnel des usines électriques étant généralement soigneux et compétent, ce procédé peut être appliqué sans crainte. Quand l'usine possède une batterie d'accumulateurs, le ventilateur mû par dynamo peut fonctionner pendant l'allumage.

On double à peu près la production d'une chaudière tubulaire, au moyen du vent soufflé, en consommant 3 p. 100 de son énergie pour activer le ventilateur ou le souffleur.

A. H.

Notes sur l'industrie électrique en France et en Angleterre, par H. Ward Léonard.

L'Exposition de Chicago a été, pour beaucoup de nos compatriotes, l'occasion de se faire une opinion sur l'état de l'industrie électrique aux État-Unis; par la même occasion les Américains ont pris contact avec la vieille Europe, et il est intéressant de connaître leurs impressions sur nos méthodes et la manière dont nous les appliquons. M. Ward Léonard s'est chargé de rapporter à l'American Institute of Electrical Engineers ce qu'un voyage en Europe lui a appris sur notre compte. Laissons-lui donc la parole.

Comme résultat de mon inspection des plus intéressants côtés de l'industrie électrique en France et en Angleterre, il me semble difficile de pouvoir conclure à la supériorité de la technique européenne ou du génie américain. Certainement, si on se place au point de vue commercial l'Amérique reste sans rivale; mais sur le terrain purement technique, nous perdons rapidement l'avance que nous nous étions assurée jusqu'à présent. Quoique j'aie toujours senti que les fameux brevets dits fondamentaux, et les énormes accumulations de capitaux et de talents sous une même direction qui en résultent, forment la pierre d'achoppement de notre profession, je ne m'en suis bien rendu compte que depuis mon voyage en Europe.

Au début de l'éclairage électrique, par arc et par incandescence, nous étions à la tête du progrès. Mais qu'a-t-on fait dans ce pays sur le domaine électrique depuis qu'Edison mit en marche sa première distribution à trois fils en 1883, depuis que Westinghouse établit son premier système alternatif avec 1.000 volts primaires et 50 volts secondaires et que Sprague construisit le tramway électrique de Richmond? Un instant de réflexion suffit pour montrer que les perfectionnements techniques sont presque impossibles, parce qu'ils rencontrent l'opposition des gigantesques corporations dont une grande partie du capital est représentée par des brevets et qui sont opposés à tous les perfectionnements dont elles n'ont pas la propriété. C'est ainsi qu'en comparaison avec l'Angleterre et la France nous perdons du terrain. Nous avons sans doute les meilleures stations centrales à trois fils du monde entier,

Digitized by Google

de 1.000 à 50 volts. Mais quel autre genre de stations centrales avons-nous à montrer? Pratiquement, aucun.

Nous avons des tramways électriques à courant continu à 500 volts, que nous faisons fonctionner à des distances pour lesquelles on devrait employer 2.000 volts au lieu de 500, et, après avoir dépensé plus de capital dans le cuivre que le coût total de l'équipement électrique, nous perdons ensemble en ligne le double de ce qui serait économique. Y a-t-il dans ce pays un grand réseau de tramways électriques qui, comme transmission de force, fasse honneur à nos électriciens? Pas un seul.

En France, et encore plus en Angleterre, on est surpris de la variété des systèmes à l'essai. Beaucoup d'entre eux paraîtront presque sûrement des insuccès commerciaux; mais qui dira celui d'entre eux qui ne puisse contenir le germe d'un développement gigantesque de notre industrie? Les capitaux ni les brevets ne peuvent empêcher l'évolution; mais je crains, que dans les conditions actuelles, nous n'en soyons réduits à peindre ce qui pourrait être exécuté, tandis que nos amis les ingénieurs étrangers, continuent d'essayer non seulement leurs idées, mais encore celles de beaucoup d'entre nous, parce qu'ils ont l'encouragement et les occasions qui nous manquent. J'ai appris dans cette excursion rapide, que beaucoup d'inventions d'Américains brevetées, décrites et annoncées chez nous, ont été appliquées avec succès par les ingénieurs anglais et français, malgré leur préjugé bien connu contre les inventions américaines (*sic*).

Courants alternatifs. — En Angleterre, ce qui frappe tout d'abord, c'est l'absence de distributions avec 50 volts secondaires. C'est le système secondaire à trois fils avec 100 volts de chaque côté qui prévaut. Je pense qu'il n'y a pas d'excuse pour nos systèmes à deux fils avec 50 volts.

Construction. — En Angleterre, on trouve une multitude de maisons d'importance moyenne qui s'occupent de la construction d'appareils électriques, et la concurrence se fait sur le terrain des idées, et non sur le prix des dynamos par kilowatt. Il est surprenant de trouver que les moteurs et les dynamos sont meilleur marché aux États-Unis qu'en Angleterre et en France, malgré les avantages de ces pays au point de vue du coût des matières premières et de la main-d'œuvre.

Les Anglais se trouvent très bien de l'habitude qu'ils ont prise de confier à des ingénieurs conseils expérimentés l'établissement des projets de stations centrales municipales. Si l'on permettait, en Amérique, à un ingénieur de choisir les meilleurs parmi tous les appareils des grandes compagnies, on obtiendrait évidemment de meilleurs résultats qu'en ne se servant que des brevets et des machines d'une seule compagnie.

Transformateurs-moteurs. — Ces transformateurs sont employés dans plusieurs stations anglaises à courant continu à haute tension, par exemple à Oxford. A Brighton, une partie de la ville est desservie par le système à trois fils à 220 volts, tandis qu'un quartier éloigné reçoit du courant alternatif à 2.000 volts, distribué à 220 par trois fils. Le courant alternatif ne fournit que le service de nuit, tandis que pendant la période de faible charge le réseau secondaire est directement relié au réseau à trois fils de la ville. C'est, paraît-il, une invention américaine, non brevetée en Angleterre, ni même en Amérique.

Machines à vapeur. — La construction soignée des dynamos et des machines en Angleterre et en France, ne laisse rien à désirer; mais nous sommes plus avancés en ce qui concerne le poids de matières, le rendement et les principes de construction. Une des choses qui m'ont le plus surpris c'est de constater l'emploi presque universel des régulateurs d'admission à action lente au lieu des « triomphes d'habileté mécanique qui sont si communs dans notre pays ».

Turbine Parsons. — La turbine Parsons est une des choses les plus intéressantes que j'aie vues en Angleterre. Les professeurs Ewing

Digitized by Google

et Kennelly ont constaté que ces machines ne consomment que 12,5 kg. d'eau d'alimentation par kilowatt-heure, quand on les fait fonctionner avec condensation.

A Newcastle-on-Tyne j'ai vu une station centrale d'environ 25.000 lampes, uniquement actionnée par ces turbines à vapeur en exploitation depuis 1890 et ayant fourni, dès le début, des bénéfices.

Un fait intéressant relatif à cette station, c'est que tous les conducteurs sont des câbles à caoutchouc vulcanisé introduits dans des tuyaux en fonte étanches à travers lesquels on force de l'air séché chimiquement. Il y a ainsi 10 km. de canalisation avec 40 km. de câble, et en cinq années de fonctionnement il n'y a pas eu un seul défaut d'isolement, ni aucun autre dérangement sur le réseau.

Turbine Laval. — J'en ai vu un certain nombre aux ateliers de la maison Bréguet, à Paris. Le rendement de cette turbine est aussi bon que celui d'une machine à vapeur de la même puissance. Son poids est de 14 kg. par cheval pour une puissance d'environ 30 chevaux. Ce qui manque, c'est un générateur d'électricité qu'elle puisse actionner directement ou qui soit solidaire avec le disque en rotation.

Chemin de fer électrique de Liverpool. — La construction aérienne, les moteurs, les prises de courant, etc., sont très bien établis. La station centrale n'est pas à la hauteur des récentes installations américaines. Comme système de régulation des moteurs on emploie le couplage en série et en parallèle, mais pas de rhéostat, la résistance équivalente se trouvant dans les enroulements des moteurs eux-mêmes.

Stations centrales anglaises. — A Londres, je mentionnerai deux stations. La première est celle de la Metropolitan Electrical Supply Company, qui dessert un secteur très vaste. A la station centrale on trouve quatre turbines Parsons de 350 kilowatts chaque, tournant à 3.000 tours par minute. Ces turbines ont été installées récemment pour remplacer les machines à vapeur qui faisaient vibrer le sol dans un grand rayon autour de l'usine.

J'ai visité aussi la station centrale de la City of London Company. Cette compagnie exploite le secteur d'éclairage le plus avantageux du monde; établie au cœur de la Cité, elle possède une clientèle dense et que les brouillards de la Tamise obligent à user largement de l'éclairage. La station centrale est située au bord de la Tamise, à peu de distance du centre d'éclairage, ce qui fait paraître surprenant l'emploi du courant alternatif.

Comme moteurs il n'y a que des jouets, tandis qu'à Chicago, par exemple, 40 p. 100 de la charge totale sont distribués sous forme de force motrice.

L'installation de l'usine est faite par groupes générateurs entièrement indépendants de 500 kilowatts. Les machines sont verticales et commandent directement des alternateurs Mordey. Les tableaux de distribution sont montés sur des pyramides en fonte, à l'intérieur desquelles descendent les conducteurs. Cette disposition est plus ornementale, mais plus difficile à inspecter que nos tableaux. Dans les détails de construction j'ai remarqué la disposition primitive des rhéostats.

Grâce à M. Weston nous construisons aussi de meilleurs instruments de mesure. J'ai vu d'excellents instruments, mais qui semblaient mieux convenir à un laboratoire de physique qu'à une station centrale.

Stations centrales françaises. — L'usine la plus intéressante que j'aie vue à Paris est une sous-station d'une capacité de 30.000 lampes. La sous-station reçoit d'une station centrale éloignée un courant constant de 250 ampères sur lequel toutes les machines sont groupées en série, et dont la tension s'élève parfois jusqu'à 6.000 volts.

Tous les transformateurs rotatifs sont en série par leurs primaires, tandis que leurs secondaires alimentent un réseau à cinq fils à 440 volts. La constance de la différence de

Digitized by Google

potentiel secondaire est réglée par un rhéostat automatique qui se trouve en dérivation sur l'enroulement série des moteurs. Des batteries d'accumulateurs sont placées en dérivation sur les circuits secondaires.

La batterie d'accumulateurs est bien établie; mais elle est tout aussi encombrante et paraît aussi susceptible de donner des difficultés d'entretien, que nos batteries. La capacité totale est de 8.000 lampes de 10 bougies pendant trois heures, et la batterie coûte 150.000 francs, pèse environ 200.000 kg. et occupe une surface de 9 m. sur 15. C'est donc un coût d'environ 5 fr. 35 par kilowatt, ce qui est un prix bien élevé, surtout pour une installation dont le rendement ne doit guère dépasser 60 p. 100. Chaudières, machines et dynamos coûteraient peut-être par kilowatt 250 francs, et auraient 100 p. 100 de rendement comparés avec les 60 p. 100 des accumulateurs, puisque la charge de ces derniers est elle-même empruntée à un groupe générateur à vapeur.

L'engouement pour les accumulateurs semble être sur son déclin, si l'on en juge par les affirmations des ingénieurs, plutôt que par celles des constructeurs de batteries. Mais, si nous nous rappelons qu'en France et en Angleterre on ne sait pas ce qu'est la distribution de force motrice, nous ne serons pas surpris du mauvais rendement des usines sans accumulateurs, qui tiennent leurs machines en marche presque sans charge pendant la plus grande partie de la journée.

Importance du facteur de charge. — Tous les électriciens savent que les consommateurs les plus avantageux sont ceux qui se servent de leurs lampes pendant le plus grand nombre d'heures. En d'autres termes, le bénéfice net que donne chaque consommateur dépend en grande partie du rapport entre sa consommation moyenne et sa consommation maxima, rapport que M. Crompton appelle le facteur de charge. Malgré cela, le tarif des stations centrales est uniquement basé sur la quantité d'énergie consommée, sans tenir compte de la nature de la consommation.

M. Arthur Wright, à Brighton, est le premier qui ait introduit ce facteur dans la tarification. Il donne à chaque consommateur un compteur indiquant le nombre de kilowatt-heures, mais aussi un second compteur de construction simple qui enregistre la puissance maxima employée au courant du mois, et l'escompte fait au consommateur est basé sur le rapport entre ces indications.

Cette question est vitale, et c'est la différence entre les facteurs de charge des stations centrales européennes et américaines qui rend les accumulateurs possibles là, et peu économiques ici. Le facteur de charge moyen d'une station anglaise est de 15 p. 100, et même à Londres, en décembre, il ne dépasse pas 33 p. 100, tandis que dans la plupart des villes américaines ce facteur, qui est de 40 p. 100, en décembre, dépasse dans beaucoup de cas 50 p. 100.

Je ne doute pas qu'une station centrale puisse faire un prix de 20 centimes par kilowatt-heure pour un service continu de nuit et de jour, tandis qu'elle perdrait de l'argent en faisant payer 75 centimes le kilowatt-heure fourni par exemple à un ascenseur à service intermittent. Je crois que le tableau suivant représente le prix qu'il faudrait demander au consommateur pour différents facteurs de charge.

FACTEUR de charge en 0/0	PRIX du kilowatt-heure en centimes.	RECETTE ANNUELLE par kilowatt en francs.
5	150	657
10	100	876
15	80	1051
20	65	1139
25	56	1226
30	50	1314
35	46	1405
40	42,5	1489
50	35	1533
60	30	1577
70	26,5	1625
80	24	1682
90	22	1734
100	20	1752

Chauffage électrique. — On rencontre

Digitized by Google

des applications du chauffage électrique qui promettent beaucoup pour l'avenir. La principale Compagnie de Londres fait une exposition permanente des appareils de chauffage pour familiariser le public avec cette application.

Locomotive Heilmann. — En France, j'ai examiné ce que je considère comme le plus important progrès industriel, la locomotive Heilmann. La locomotive que j'ai vue était le premier modèle construit, d'une puissance de 600 chevaux. Elle venait de parcourir 3.500 km. On en construit maintenant deux autres de 1.500 chevaux chacune qui seront probablement mises en service en juin prochain.

On sait que la locomotive Heilmann n'est autre chose qu'une station centrale montée sur roues dont la puissance sert à sa propulsion. La plupart des ingénieurs qui en ont entendu parler la considéraient comme une « monstruosité ridicule d'un Français faible d'esprit, » mais je suis convaincu que dans un avenir peu éloigné vous serez obligés de donner à cette machine la plus respectueuse considération.

Sur cette locomotive, l'énergie électrique est utilisée le plus économiquement possible, parce qu'on fait varier le voltage proportionnellement à la vitesse désirée, et les ampères proportionnellement au couple. Cette méthode de régulation adoptée sur ma proposition a été souvent critiquée, parce qu'on prétend qu'elle n'est pas sans faire cracher les balais de la génératrice. Or, j'ai soigneusement examiné le collecteur de la génératrice qui a fourni le courant sur le parcours de 3.500 kilomètres effectué par la locomotive, et je l'ai trouvé en parfait état.

Une locomotive électrique de ce genre coûterait probablement environ 150.000 francs, étant pourvue d'une chaudière marine de 1.500 chevaux et d'une machine à vapeur compound attelée à une génératrice multipolaire. Je crois qu'on pourrait construire une locomotive de ce type qui traînerait une charge de 50 p. 100 plus grande que les locomotives à vapeur, et avec une vitesse de 50 p. 100 plus élevée. Je pense que ce type de locomotive électrique forme l'intermédiaire entre la locomotive à vapeur et la locomotive électrique actionnée par une station centrale fixe.

Pour essayer une locomotive de 1.500 chevaux qui recevrait le courant d'une station centrale, il faudrait dépenser près de cinq millions de francs. Avec une locomotive Heilmann l'essai ne coûterait que 250.000 francs et, s'il est concluant, il sera facile de remplacer la chaudière et la machine à vapeur par un contact mobile et un moteur-actionnant la génératrice déjà installée.

A. H.

Les locomotives électriques en Amérique, par Varney.

L'Angleterre, dit M. Varney, dans la *Street Railway Gazette*, a devancé l'Amérique dans l'emploi des locomotives électriques pour le transport des voyageurs. Leur application première sur la voie souterraine du City and South London Electrical Railway remonte à l'ouverture de cette ligne en novembre 1890, où 14 de ces machines, du poids de 10 tonnes chacune, furent mises en service.

En Amérique, les locomotives électriques proprement dites ont été d'abord appliquées (à l'exemple de l'Allemagne, oublie de dire l'auteur) à la traction dans les mines ; les premières ont été mises en service en 1889. Une machine mixte, destinée à transporter des marchandises aussi bien qu'à traîner des wagons chargés, avait cependant été exploitée l'année précédente sur la voie d'embranchement d'une usine américaine.

Le meilleur modèle de ce genre de machines a été construit en 1891 pour des ateliers du Massachussets. Son moteur unique a une puissance maxima de 100 chevaux et son poids total est de 20 tonnes environ. Ses roues motrices ont 1,05 m. de diamètre, et sa vitesse à pleine charge est de 8 km. à l'heure. Son service consiste à traîner des wagons

Digitized by Google

chargés entre l'usine et le chemin de fer auquel elle est ainsi reliée, sur une distance de 2,5 km. environ. On lui a fait tirer jusqu'à neuf wagons chargés de chemin de fer ordinaire, pesant 200 tonnes, sur une rampe de 3 p. 100 avec double courbe.

Mais la première locomotive électrique américaine, exclusivement destinée à la traction des voitures, a été celle achevée aux ateliers de Lynn au printemps de 1893 et produite à l'exposition de Chicago. Elle pèse 30 tonnes et comporte un châssis unique à deux moteurs. Elle est entièrement couverte et est munie d'une tourelle s'élevant en son milieu pour doubler sa hauteur de vue. C'est une machine très compacte, très soignée et très puissante.

Une autre locomotive que viennent de terminer les mêmes ateliers constitue réellement une imposante machine électrique, la plus puissante probablement qui ait encore été construite, du moins comme machine à trolley. Elle diffère légèrement de la précédente, en ce qu'elle est supportée par deux trucs indépendants à quatre roues chacun, faisant toutes l'office de roues motrices ; chaque paire de roues est actionnée par un moteur spécial du type à simple réduction de vitesse angulaire et monté sur l'essieu, comme dans les voitures de tramways urbains. Tout le châssis et la voiture sont portés par des ressorts elliptiques qui reposent directement sur la partie supérieure des boîtes d'essieux ; cette disposition y assure un accès facile et réduit au minimum l'usure tant de la machinerie électrique que du truc. La voiture qui l'enveloppe est faite en tôle de fer, et les ouvertures en sont disposées de manière à permettre, d'une seule et même position, la vue dans presque toutes les directions.

Le matériel électrique comprend, en dehors des moteurs, une série de rhéostats, des appareils de sécurité et un compresseur d'air pour le fonctionnement des freins et des sifflets. Elle porte en outre des cloches, des fanaux et des boîtes à sable, indépendamment du chasse-bœufs monté à chacune de ses extrémités. Comme forme, elle est parfaitement symétrique.

Nous donnons ci-après ses dimensions et constantes : poids, 40 tonnes ; hauteur totale 3,80 m. longueur, 7 m. ; largeur totale, 2,90 m. ; diamètre des roues motrices (7,5 cm. de bandage en acier), 1 m. ; largeur de voie, 1,40 m. Cette machine est destinée à effectuer le travail ordinaire d'une locomotive à vapeur à une vitesse ne dépassant pas 48 km. à l'heure.

Les mêmes ateliers ont encore en chantier une autre locomotive commencée plus tard et non encore terminée. C'est un véritable monstre ; elle est montée sur 12 roues et pèse 90 tonnes. Sa forme est tout à fait spéciale, tout en restant comme caractères généraux analogue à la précédente de 40 tonnes. Chaque paire de roues est actionnée par un induit monté sur son essieu, et elle comporte trois trolleys, disposition qui assure la continuité du contact avec le fil de trolley.

Cette machine en construction est destinée au chemin de fer de Baltimore à Ohio et doit servir au remorquage de ses trains dans le tunnel qui passe sous Baltimore.

Le grand désagrément causé aux voyageurs par la fumée, la vapeur et le bruit des locomotives à vapeur pendant la traversée de ce tunnel a déterminé la Compagnie à commander une machine parant à ces divers inconvénients. La lourdeur des trains qui passent sous la ville exige des locomotives de grande puissance ; à l'approche du tunnel, la machine électrique sera attelée en tête de la machine à vapeur réduite à l'inaction et entraînera le train complet.

Bien qu'il ait été conçu de nombreux plans théoriques d'exploitation électrique de longues lignes pour marchandises et voyageurs, les enthousiastes seuls affirment que le moment de cette modification dans le mode de traction est arrivé, ou qu'il est du moins très proche ; on ne l'entrevoit généralement ainsi que dans quelques cas exceptionnels, tels que sur une voie, comme celle de Chicago à Saint-Louis qui se présente en ligne droite sur une lon-

Digitized by Google

gueur de 412 km. Cette ligne est entre toutes celle le mieux désignée pour une exploitation électrique ; en effet, indépendamment de son parcours presque entièrement en palier, elle est voisine, à l'une de ses extrémités, d'une chute d'eau, et, à l'autre, d'une mine de houille et la Compagnie du chemin de fer s'est assurée des intérêts dans l'exploitation de ces deux sources d'énergie.

La locomotive électrique paraît avoir son champ d'application bien indiqué dans les cours de chemins de fer, dans les locaux industriels, sur les lignes courtes et les embranchements, ainsi que dans les mines, où elle est sans aucun doute appelée, en raison de ses avantages, à être exclusivement employée.

Cette modération quasi pessimiste de l'auteur, et qui n'est pas dans le tempérament ordinaire de son pays, ne doit pas décourager ceux de nos ingénieurs qui se sont le plus particulièrement voués à l'étude de cette question. Ils n'en auront que plus de mérite s'ils arrivent bons premiers. Elle n'est pas, en tous cas, de parti pris dans le journal auquel elle est empruntée et qui, dans son numéro immédiatement précédent, contenait un article très élogieux sur la locomotive Heilmann. Il est vrai que, tout électriques qu'ils soient l'un et l'autre la traction par trolley et la traction Heilmann sont deux systèmes d'exploitation essentiellement différents.

E. B.

Sur l'emploi de l'éclairage électrique dans les chemins de fer, par W. Langdon (1).

L'éclairage à incandescence est employé principalement dans les bureaux, les salles d'attente et d'autres locaux de surface limitée. On reproche ordinairement à l'éclairage électrique sa cherté. Avec une petite installation, ou lorsque le courant est emprunté à un réseau de distribution local, le prix de revient est probablement dans la plupart des cas plus grand qu'avec le gaz ; mais il est douteux que cette différence subsiste si nous prenons en considération le nettoyage et la décoration de ces locaux. Nous connaissons tous l'effet du gaz qui donne lieu à de fréquents nettoyages ; si, avec l'éclairage électrique, nous nous épargnons seulement un nettoyage sur trois, il est probable que les inconvénients d'une petite installation se trouveront rachetés. Enfin, les exigences de l'hygiène viennent encore plaider en faveur de l'éclairage électrique.

L'éclairage à arc est d'une grande utilité dans les chemins de fer. Dans les opérations du chargement et du déchargement des marchandises, dans le triage des wagons et les manœuvres de formation des trains un bon éclairage fait gagner du temps, et ce résultat n'est pas seulement appréciable dans la gare même où il se produit, mais le trafic entier d'un réseau peut s'en ressentir. L'avantage de l'éclairage à arc c'est que pour la même dépense il fournit une meilleure lumière que le gaz. Quand le trafic dans une gare de marchandises, par exemple, augmente, au lieu d'agrandir les hangars et le terrain, extension souvent très coûteuse, on peut arriver au même résultat voulu en remplaçant simplement le gaz par l'éclairage à arc, qui permet d'effectuer un travail beaucoup plus actif en facilitant grandement la circulation.

L'auteur rappelle que la première installation d'éclairage électrique à arc d'une gare de marchandises (à Nine Elins) a été établie dans le but d'empêcher des déprédations sur les marchandises de valeur, et le coût de l'installation a, en effet, été compensé par l'économie réalisée dans ce sens.

M. Langdon décrit ensuite les différentes installations d'éclairage électrique ; nous n'en donnerons ci-dessous qu'un tableau d'ensemble. Remarquons, toutefois, qu'à la station de Leicester, la force motrice est fournie par des moteurs à gaz. L'usine comporte quatre moteurs à gaz de 50 chevaux et deux de 25 chevaux.

L'éclairage à incandescence s'effectue en général sur des circuits à deux fils. A Derby

(1) Extrait d'une communication faite à l'Institution of Electrical Engineers, le 28 mars 1895.

Digitized by Google

on a adopté le système à trois fils. A Derby, comme à Bradford, on a installé des dynamos compensatrices Sayers destinées à égaliser le voltage des deux ponts malgré les variations de charge (¹).

CHEVAUX Vapeur	CHEVAUX Gaz	LOCALITÉS	ARCS 2000 bougies	ARCS 1250 bougies	LAMPES à incandescence de 8 bougies
200	90	Bradford	»	190	1.100
190	»	Leeds	»	150	523
190	«	Sheffield	111	»	300
190	»	Liverpool	»	126	100
190	25	Birmingham (Central)	73	»	435
300	»	— (Lawley Street)	«	200	400
320	»	Derby	»	»	4.500
»	250	Leicester	160	»	400
300	»	Saint-Pancras	242	»	»
»	»	— Hotel	»	»	1.330
200	»	Hottingham	55	75	300
»	40	Vellingboro'	35	»	100
2,080	405		679	741	9.488
2.485			1.420		

On voit d'après le tableau que deux types de lampes à arc sont employés : lampes de 2.000 et 1.250 bougies, fonctionnant respectivement avec des intensités de 10 et de 6,8 ampères. L'arc de 10 ampères devrait être installé à une plus grande hauteur que celui de 7 ampères; mais pour avoir un type en forme de poteau, on a placé toutes les lampes à 6 mètres au-dessus du niveau des rails. Les distances entre les lampes varient, pour celles de 6,8 ampères de 28 à 30 m., pour celles de 10 ampères, de 30 à 36 mètres. Dans les dépôts de marchandises à ciel ouvert ces distances sont réduites respectivement à 14 et 18 m. Mais l'écartement et la hauteur des lampes varient selon les conditions locales. Ainsi à la gare de voyageurs de Leicester, les lampes accrochées au toit à 4,5 m. au-dessus du sol sont distantes entre elles de 30 m., les murs en matériaux vernissés réfléchissant la lumière et la répartissant uniformément.

M. Langdon donne sur le prix de revient de l'éclairage électrique d'intéressants détails. Le coût de premier établissement est généralement plus élevé dans le cas de l'électricité que dans celui du gaz, mais à intensité lumineuse égale le prix de revient est bien décidément en faveur de l'éclairage électrique.

Le tableau ci-dessous réunit quelques moyennes annuelles.

INSTALLATION	PRIX DE REVIENT par kilowatt-heure, en centimes				
	Main-d'œuvre	Entretien	Réparations	Combustible	Dépenses totales
Saint-Pancras	12	8,8	2,9	9,5	33,8
Bradford	11,8	5,9	3,4	6,5	29,4
Birmingham (Central)	12,9	6,9	3,6	4,5	30,0
— (Lawley Street)	13,5	7,5	2,3	5,5	29,2
Leeds	19,4	9,3	4,3	7,6	41,0
Derby	16,6	8,9	3,1	6,2	35,4

Ces résultats comparés avec les prix de l'énergie électrique fournie par les stations centrales parlent en faveur des installations isolées. Et il faut remarquer que dans les chemins de fer l'éclairage à arc varie toute la nuit selon les nécessités du trafic, et n'est pas aussi constant que dans le service d'éclairage d'une ville. En outre, l'éclairage à incandescence n'est pas utilisé d'une façon continue dans la soirée; en plein hiver, les bureaux ne s'en servent pas pendant plus d'une heure et demie par jour.

Quelques-uns des dépôts de marchandises récemment construits offrent le moyen d'établir une comparaison entre le gaz et l'électricité. Le gaz a été adopté en prévision d'une intermittence dans le service électrique. Par conséquent, l'installation d'éclairage au gaz est à la hauteur des besoins modernes, et, tout en étant loin de donner autant de lumière que l'installation électrique dont elle forme le complément, elle en donne plus, toutefois, qu'avec l'ancien système d'éclairage au gaz.

Les lampes à gaz sont du type à récupération donnant nominalement 150 bougies; elles sont au nombre de 81. La consommation officiellement indiquée est de 140 litres par heure

(¹) Voir *la Lumière électrique*, t. L., p. 277, 1893.

Digitized by Google

pour une intensité lumineuse de 25 bougies. Le prix du gaz à Birmingham est de 9,6 centimes par mètre cube. Il en résulte que l'éclairage au gaz coûte 6,50 francs par heure.

Les lampes à arc, au nombre de 30 dépensent chacune 14,8 centimes par heure ; l'éclairage à arc coûte donc seulement 4,45 francs par heure. En somme :

81 becs de gaz donnent 12.300 bougies pour 6.50 fr. par heure.

30 arcs donnent 56.000 bougies pour 4,45 fr. par heure.

A la gare de Lawley Street, à Birmingham, on a, dans des conditions analogues, les proportions suivantes :

53 arcs donnant 63.600 bougies pour 5,20 fr. par heure.

130 becs de gaz donnant 19.500 bougies pour 10,50 fr. par heure.

A Somers Town (Saint-Pancras) le gaz employé est fabriqué à l'usine de la Compagnie, et n'est compté qu'au prix de 9 centimes le mètre cube. Les résultats sont ceux-ci :

29 arcs donnent 58.000 bougies pour 4,95 fr. par heure.

86 becs de gaz donnant 12.900 bougies pour 6,40 fr. par heure.

Le remplacement du gaz par l'électricité donne, dans les trois dépôts de marchandises dont il vient d'être question, une économie annuelle de 25.000 francs. Et il est important de noter que les dépenses comptées pour l'électricité contiennent celles afférant aux réparations, nettoyages, etc., tandis que dans le cas du gaz pur et simple, entretien et réparations ne sont pas comptés.

En terminant, l'auteur fait remarquer que l'on est obligé d'avoir des génératrices spéciales pour les arcs et d'autres pour l'incandescence. Les arcs, en effet, sont disposés à toutes distances de la génératrice et le système le plus économique au point de vue des conducteurs est de les alimenter en série, à intensité constante. Pour les lampes à incandescence, au contraire, c'est la distribution en dérivation qui est la plus commode.

Il serait utile que ces deux systèmes puissent être combinés et alimentés par une même génératrice, et l'auteur se demande si, dans ce but, il faut s'adresser au courant alternatif, au courant continu ou aux courants redressés ? Qu'il nous permette de rappeler que le sytème de distribution à courants alternatifs de M. Boucherot est précisément adapté à ce cas.

L'auteur reproduit enfin les instructions données aux ouvriers des usines électriques pour éviter les accidents (usage de gants et de souliers en caoutchouc, etc.), et pour le traitement à appliquer aux foudroyés (tractions sur la langue, etc.). Les recommandations faites dans ces sortes de règlements étant aujourd'hui généralement connues, nous croyons inutile de les reproduire.

A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

La pile Clark en circuit fermé, par S. Skinner (1).

Dans une note, analysée dans cette Revue, M. Threlfall (2) critiquait quelques points d'un travail récent de M. Skinner (3) sur la pile Clark en circuit fermé ; M. Skinner réfute ces critiques dans la note qui nous occupe.

L'objection la plus grave présentée par M. Threlfall est celle qui est relative à la variation que peut éprouver la résistance intérieure R de la pile suivant la nature du courant qui la traverse. En effet la méthode de M. Skinner pour la détermination de la force électromotrice de polarisation consiste à mesurer la force électromotrice E de la pile en circuit ouvert,

(1) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 375-377 ; avril 1895.

(2) THRELFALL. — *Phil. Mag.* t. XXXIX, p. 295. — *L'Eclairage électrique*, t. II, p. 517.

(3) SKINNER. *Phil. Mag.* t. XXXVIII, p. 271. — *L'Eclairage électrique*, t. I, p. 176.

Digitized by Google

et à retrancher de E la force électromotrice e en circuit fermé, calculée par la formule

$$e = \frac{R + r}{r} V, \qquad (1)$$

R étant la résistance intérieure de la pile, r la résistance métallique sur laquelle elle est fermée et V la différence de potentiel de ses pôles dans ces conditions, ces trois quantités R, r et V étant déterminées expérimentalement. Comme la résistance de la pile est mesurée par le procédé de Mac Grégor, au moyen de courants alternatifs, il est bien évident que, si cette résistance dépend de la nature du courant, la valeur déterminée par le procédé précédent n'est pas celle qu'il convient de prendre dans l'équation (1) et que, par suite, la méthode de M. Skinner ne peut donner une valeur correcte de la force électromotrice de polarisation.

M. Skinner ne nie pas la possibilité d'une variation de la résistance R, et même il l'avait étudiée avec le plus grand soin avant d'entreprendre ses expériences définitives. Il fait observer que cette variation ne peut provenir que d'une inégalité des vitesses de migration des ions et de l'endosmose électrolytique et que, par suite, elle doit avoir lieu dans le même sens pendant tout le temps que la pile est en circuit fermé. Si donc les mesures faites avant et après la fermeture du circuit ne présentent pas de divergences considérables, il est légitime d'admettre que pendant la fermeture du circuit la résistance demeure comprise entre les valeurs initiale et finale, et le principe de la méthode se trouve ainsi justifié. En fait, M. Skinner a constaté, comme il s'y attendait, une légère différence entre les résultats des mesures de résistance faites avant et après la fermeture du circuit de la pile.

La seconde objection de M. Threlfall était que le passage du courant à travers la résistance métallique r pouvait, en élevant la température du fil, modifier la valeur de cette résistance. M. Skinner répond à ce propos que le courant traversant la résistance de 147 ohms n'était guère que de 0,01 ampère et que la quantité de chaleur qu'il pouvait développer dans la résistance ne dépassait pas 12,6 petites calories par heure. Comme le fil, du poids de 20 grammes, était enroulé sur une monture évidée en ébonite plongée dans un bain d'huile, il ne pense pas que cette faible quantité de chaleur ait pu porter le fil à une température supérieure à celle du bain. D'ailleurs un excès de température de 10°C. n'aurait pu produire qu'une variation de 0,6 ohm, et, en outre, on voit par la formule (1) qu'une légère variation de la résistance r ne pouvait avoir qu'une influence très minime sur les résultats.

Pour ces raisons M. Skinner maintient la conclusion qu'il a tirée de ses expériences : la force électromotrice de polarisation croît avec le temps, bien que cette conclusion soit en désaccord avec celle de M. Threlfall. Il fait remarquer que dans ses premières expériences, dans lesquelles la différence de potentiel V était mesurée en l'opposant à celle de deux points d'un circuit contenant quelques éléments Leclanché, il avait trouvé lui-même des résultats d'accord avec ceux de M. Threlfall. Mais, pour diverses raisons qu'il développe dans sa note, il croit pouvoir affirmer que ces résultats doivent être attribués à des irrégularités dans le fonctionnement des éléments Leclanché, irrégularités qui ne se produisent pas dans les éléments Clark que l'on substituait à ceux-ci dans les expériences définitives.

J. B.

Sur la force électromagnétique ou force portante des électro-aimants, par F. Taylor Jones(1).

L'auteur commence par passer en revue les nombreuses recherches faites depuis soixante ans dans le but de trouver quelle relation existe entre la force portante d'un aimant rapportée à l'unité de surface et l'intensité d'aimantation ou l'induction.

(1) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 254-268; mars 1895.

Digitized by Google

En 1833, Fechner (1) fit de nombreuses expériences dans lesquelles il mesurait l'effort nécessaire pour séparer un électro-aimant en fer à cheval de son armature, et la déviation qu'éprouvait une aiguille aimantée placée à l'intérieur d'une bobine traversée par le courant magnétisant; des résultats qu'il obtint il conclut que l'effort est sensiblement proportionnel à l'intensité du courant magnétisant.

Lenz et Jacobi (2) montrèrent en 1839 l'inexactitude de cette loi. La même année Joule (3) trouva que la force portante d'un électro-aimant croît comme le carré de l'intensité du courant magnétisant tant que celle-ci n'est pas trop grande, puis croît plus lentement pour atteindre un maximum dont la valeur dépend de diverses circonstances.

En 1852, Dub (4) constata que la loi trouvée par Joule n'est pas plus exacte que celle énoncée par Fechner et que la loi exacte semble être intermédiaire entre celles-ci.

Des expériences beaucoup plus exactes furent faites en 1870 par von Waltenhofen (5). Il mesurait au moyen d'un peson la force attractive s'exerçant entre les pôles de deux électro-aimants semi-circulaires; un troisième électro-aimant, semblable aux précédents mais droit, était placé avec une bobine compensatrice suivant la ligne est-ouest d'un magnétomètre permettant de déterminer le moment magnétique du barreau; un galvanomètre disposé en série avec ces bobines servait à mesurer l'intensité du courant. Il constata que la force portante croissait plus rapidement que la déviation de l'aiguille du magnétomètre quand le courant était faible puis croissait plus lentement, et que la courbe représentative s'approchait d'une asymptote horizontale. En comparant la force portante avec l'intensité du courant, il trouva que cette force peut être représentée par une expression de la forme $\frac{b}{\text{tang } ac}$ où c est l'intensité du courant, et a et b des constantes.

En opérant avec deux électro-aimants ayant pour noyaux les deux moitiés d'un tube de fer coupé par un plan passant par l'axe, Werner von Siemens (1) trouva, en 1881, que la force portante est sensiblement proportionnelle au moment magnétique des noyaux par unité de volume.

L'année suivante Wassmuth (2) expérimenta avec deux électro-aimants semblables à ceux de von Waltenhofen; l'induction était mesurée par la méthode balistique. Il trouva que la force portante pouvait être représentée par l'expression.

$$a + bI^2 + \frac{cI^2}{d + eI^2},$$

I étant le moment magnétique par unité de volume. En adoptant les résultats des expériences de Siemens il reconnut qu'ils peuvent être représentés par une expression un peu différente.

$$a + bI^2 + cI^4.$$

Mais ni Siemens, ni Wassmuth n'avaient eu l'idée de comparer leurs résultats avec l'expression donnée quelques années auparavant par Maxwell (3) pour la traction électromagnétique qui s'exerce entre deux surfaces planes, normalement et uniformément aimantées et placées à une distance infiniment petite, expression qui est

$$\frac{1}{8\pi} B^2 A,$$

B désignant l'induction magnétique et A la surface de chacune des faces polaires.

Cette comparaison entre la théorie de Maxwell et l'expérience fut faite en 1886 par M. Bosanquet (4) qui mesurait l'attraction de deux courtes barres aimantées. Cet expérimentateur obtint les résultats suivants :

(1) Fechner, *Schweigg. Journ.*, LXIX (1833).
(2) Lenz et Jacobi, *Pogg. Ann.*, XLVII. p. 415 (1839).
(3) Joule, *Phil. Mag.*, déc. 1851.
(4) Dub, *Pogg. Ann.*, LXXXVI, p. 553 (1852).
(5) v. Waltenhofen, *Wien. Ber.*, LXI, p. 739 (1870).

(1) V. Siemens, *Wied. Ann.*, XIV, p. 648 (1881).
(2) Wassmuth, *Wien. Ber.* LXXXV, p. 337 (1882).
(3) Maxwell, *Electricity and Magnetism*, t. II, § 641-644.
(4) Bosanquet, *Phil. Mag.*, XXII, p. 535 (1886).

Digitized by Google

1° Quand l'induction magnétique B est inférieure à 5.000 unités les tractions observées sont beaucoup plus grandes que celles que donne la formule de Maxwell.

2° Cette formule n'est pas applicable quand l'intervalle d'air séparant les deux surfaces a une épaisseur appréciable.

3° Elle convient avec une approximation de 5 p. 100 quand l'induction est très grande.

La même année, M. Bidwell (1) fit une série de mesures de la force attractive entre deux barreaux aimantés et de l'intensité du courant magnétisant. Mais il ne mesurait pas l'induction magnétique qu'il déduisait de la force attractive en appliquant précisément la méthode de Maxwell. Ces mesures ne peuvent donc servir à la vérification de cette formule.

Enfin, récemment, M. Threlfall (2) s'est de nouveau occupé de la question ; nous n'avons pas à rappeler ses résultats qui ont été indiqués il y a peu de temps. Disons seulement qu'ils s'accordent mieux que ceux de M. Bosanquet avec la formule de Maxwell.

Les expériences de M. Taylor Jones, commencées en octobre 1893, ont également pour objet la vérification de la formule de Maxwell.

L'appareil employé est représenté par la figure 1. Il se compose de deux électro-aimants dont les bobines magnétisantes ont 20 cm. de longueur et portent 12 couches, de 70 tours chacune, d'un fil de 2 mm. de diamètre, en aluminium afin de diminuer le poids. Chaque noyau est constitué par un tube de fer à l'une des extrémités duquel est soudé un demi-ellipsoïde de révolution. Ces pièces ellipsoïdales sont obtenues en travaillant au tour une barre de fer d'Allemagne de manière à en former un ellipsoïde de révolution de 22,57 cm. de long et de 1,5 cm. d'épaisseur maxima, puis en coupant cet ellipsoïde en deux suivant le plan équatorial. Les écrous N servent à régler la position des noyaux. Un anneau de cuivre R, soudé à l'un des noyaux et entourant l'extrémité en regard de l'autre, a pour but de maintenir les axes de ces noyaux dans le prolongement l'un de l'autre au moment de l'arrachement. L'auteur a constaté que cet anneau a une très grande importance pour l'exactitude des mesures, L'électro-aimant supérieur est solidement fixé à un support en bois; l'extrémité inférieure du noyau de l'autre passe à

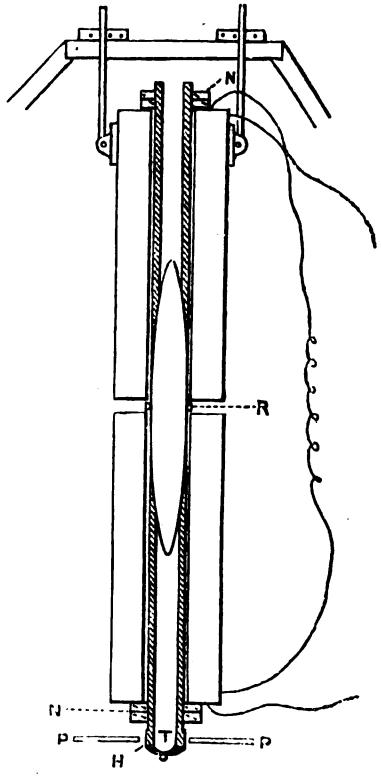


Fig. 1. — Appareil employé pour déterminer la force portante des aimants.

travers une ouverture H pratiquée dans une plate-forme PP; un plateau de balance est fixé à cette extrémité.

Le courant magnétisant, fourni par une batterie d'accumulateurs, était mesuré par un galvanomètre de torsion Siemens et Halske étalonné par l'électrolyse.

L'intensité d'aimantation était déterminée au moyen d'un magnétomètre, l'ellipsoïde et les bobines étant placés suivant la ligne est-ouest. L'intensité du champ magnétique terrestre était mesurée par la méthode de Gauss

(1) Bidwell, *Proc. Roy. Soc.*, XL, p. 486 (1886).
(2) Threlfall, *Phil. Mag.*, XXXVIII, p. 89 (1894). *La Lum. élect.*, t. LIII, p. 187.

Digitized by Google

et par celle de la boussole des tangentes; sa variation pendant la durée des mesures était donnée par l'appareil de Kohlrausch. L'intensité d'aimantation s'en déduisait par la formule de Thomson et Tait,

$$h \operatorname{tang} \theta = \frac{2\nu I}{d^3} \left\{ 1 + \frac{6}{5}\frac{e^2}{n^2} + \frac{9}{7}\frac{e^4}{n^4} + \frac{4}{3}\frac{e^6}{n^6} + \ldots \right\},$$

où h est la composante horizontale du champ terrestre, θ la déviation de l'aiguille, ν le volume et e l'excentricité de l'ellipsoïde, d la distance de l'aiguille au centre de l'ellipsoïde et n le quotient de cette distance par le demi-axe c de l'ellipsoïde.

Le champ magnétique H était calculé en tenant compte de la force démagnétisante de l'ellipsoïde, force calculée au moyen de la formule du paragraphe 438 du traité de Maxwell.

L'intensité d'aimantation I et le champ magnétisant H étant ainsi déterminés, on

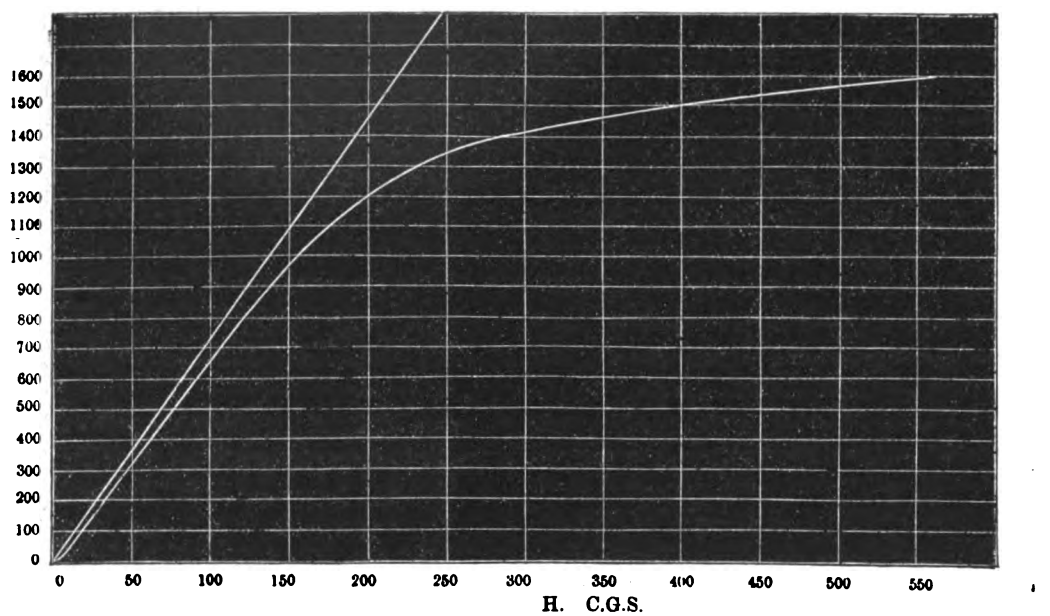


Fig. 2. — Courbes d'aimantation et de la force démagnétisante.

construisait la courbe d'aimantation, c'est-à-dire la courbe représentative de I en fonction de H. Cette courbe étant tracée, il était facile d'en déduire la valeur de $B = H + 4\pi I$ pour toute valeur du champ magnétisant.

Pour déterminer la force portante, on mettait dans le plateau de balance suspendu à la bobine inférieure des poids un peu inférieurs à cette force et on ajoutait avec précaution de la limaille de plomb jusqu'à ce que les deux bobines se séparent. On faisait alors la lecture de l'intensité du courant, puis l'on pesait la limaille de plomb introduite. On répétait ces mesures pour des intensités de courant variant de 1 à 10 ampères, intensités auxquelles correspondaient des valeurs de l'induction magnétique comprises entre 6.000 et 20.000 unités CGS.

Dans toutes les expériences, on faisait les lectures pour l'un et l'autre sens du courant magnétisant et l'on prenait la moyenne arithmétique de ces lectures pour éliminer l'influence du magnétisme résiduel.

Les résultats des expériences étaient exprimés graphiquement en portant en abscisses les valeurs de l'induction B et en ordonnées les racines carrées des forces portatives observées; on traçait également la droite représentant dans ce système de coordonnées la relature de Maxwell.

Digitized by Google

Dans une première série d'expériences les faces de contact des deux demi-ellipsoïdes étaient aussi planes que possible, mais n'étaient pas polies. La courbe représentative des résultats était au-dessus de la droite de Maxwell pour les faibles inductions et au-dessous de cette droite pour les inductions élevées.

L'auteur chercha si les corrections dues à l'attraction des bobines elles-mêmes et à l'inflence des bords des surfaces en contact ne pouvaient pas être la cause de cette divergence entre la théorie et l'expérience. Il trouva que ces corrections étaient au plus de l'ordre des erreurs expérimentales et par conséquent négligeables.

Il entreprit alors une seconde série d'expériences après avoir fait polir les faces de contact avec le plus grand soin. Il constata que la force portante dépend un peu de la position des noyaux par rapport aux bobines et que, pour un courant magnétisant peu intense, il existe une position de la bobine pour laquelle la force portante passe par un minimum. Cette remarque le conduisit au mode opératoire qui suit : au moyen des écrous qui servent à fixer la bobine supérieure au support, on plaçait cette bobine dans une position proche de celle qui correspondait au maximum de la force portante pour l'intensité du courant magnétisant employé. On chargeait ensuite le plateau de poids un peu supérieurs à la force portante et on déplaçait lentement la bobine vers sa position du minimum ; avant d'atteindre cette position, la bobine inférieure se détachait.

De cette façon, on arrivait par tâtonnements à trouver très exactement la valeur de la force portante pour les faibles inductions. Pour celles dont la valeur dépassait 14.000 unités CBS il n'y avait pas de position du minimum et l'exactitude était moins grande.

Les résultats obtenus dans cette seconde série d'expériences étaient bien représentés par une droite, mais cette droite se trouvait un peu au-dessous de celle qui représente la formule de Maxwell. Cette légère divergence pouvait être attribuée à une évaluation trop faible des poids nécessaires à la séparation des noyaux ou à une évaluation trop forte de l'induction magnétique. Comme dans la disposition expérimentale adoptée, les noyaux dépassaient les extrémités en regard des bobines de 2,5 mm., l'auteur pensa que cette dernière raison était la bonne. Quelques essais ayant confirmé cette opinion, M. Taylor Jones recommença les expériences en rapprochant les bobines autant qu'il le pouvait ; il ne laissa entre elles qu'un espace de 1,5 mm., espace

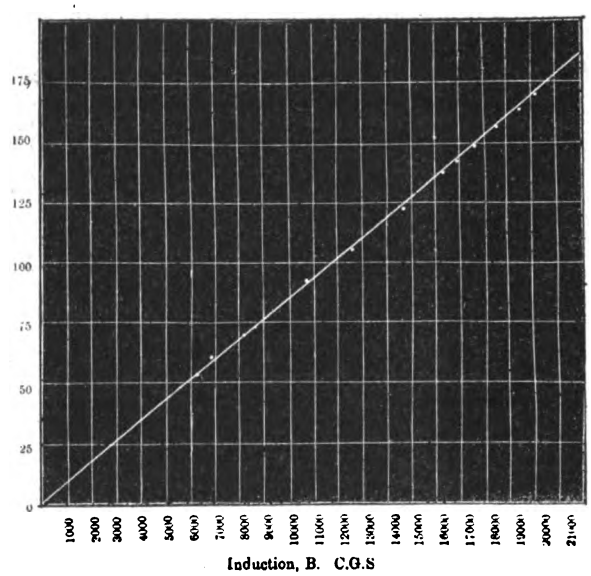


Fig. 3. — Représentation graphique de la variation de la force portante avec l'induction.

nécessaire pour permettre de voir si le contact des noyaux semi-ellipsoïdaux était parfait. La courbe de magnétisation déterminée dans ces conditions différait un peu de celle qu'avaient donnée les premières expériences et conduisait, pour chaque valeur du champ magnétisant, à une valeur un peu plus élevée de l'induction. La figure 2 représente cette courbe, ainsi que la courbe de la force démagnétisante de l'ellipsoïde.

Les forces portantes mesurées avec la nouvelle disposition expérimentale différaient peu de celles que donnaient les précédentes déterminations, mais la courbe représentative de la variation de ces forces avec l'induction, que

Digitized by Google

représente la figure 3, se confondait alors presque exactement avec la droite de Maxwell. Ainsi qu'on le voit par les points servant à déterminer la courbe, les mesures ne commençaient qu'à partir d'une valeur de l'induction un peu supérieure à 6.000 unités CGS le poids de la bobine inférieure s'opposant à ce que des mesures pussent être faites au-dessous de cette valeur, et c'est même pour reculer cette limite inférieure que les bobines étaient, ainsi que nous l'avons déjà dit, formées avec du fil d'aluminium.

Ainsi donc, lorsqu'on prend des précautions convenables, l'expérience donne des résultats d'accord avec la formule de Maxwell. C'est là un point important que les expériences antérieures n'avaient pu établir.

J. B.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Bourg. — Voici quelques extraits de la décision du Conseil d'État, dans le procès intenté par la Compagnie du gaz à la ville de Bourg, à propos de l'autorisation donnée par cette dernière à la Compagnie d'électricité de poser des câbles sur les dépendances de la voierie urbaine, pour la fourniture de l'éclairage électrique aux particuliers :

« Attendu qu'il appartenait à la ville de s'interdire d'autoriser toute installation pouvant faire concurrence au concessionnaire de l'éclairage.

« Que par les traités intervenus entre la ville de Bourg et l'exposante, en 1866 et en 1882, la ville lui a concédé le privilège exclusif de se servir des dépendances de la voierie pour les fournitures de l'éclairage non seulement pour le gaz, mais pour tout système :

« Qu'à cet égard la commune intention des parties résulte de la substitution du mot éclairage au terme « gaz d'éclairage » dans l'article 3 du traité de 1882;

« Qu'ainsi la ville a violé le contrat en autorisant le sieur Dumont à poser sur la voie publique des fils destinés à distribuer la lumière aux particuliers :

« Condamne la ville à payer à la Compagnie du Gaz une somme de 50.000 francs pour le préjudice causé avant l'introduction de l'instance, et celle de 100 *francs par jour jusqu'à la cessation de l'exploitation du sieur Dumont* ;

« Subsidiairement ordonne une expertise;

« Condamne la ville de Bourg aux dépens. »

L'affaire se représentera bientôt devant le Conseil d'État pour être jugée au fond.

Coutras. — Le Conseil municipal a longuement discuté la question de l'éclairage actuel qu'il s'agit de remplacer par l'éclairage électrique.

Jusqu'à présent les habitants n'avaient pour guider leurs pas dans les rues ténébreuses de Coutras, que quelques vieilles lanternes, où l'on brûle une huile fumeuse, soigneusement ménagée par les soirs de lune. C'est avec plaisir que l'on saluera l'avènement de l'électricité.

Le projet qui comporte son adoption et son exploitation a été attentivement examiné. La force motrice sera fournie par les grands moulins de Coutras, propriété de M. Sarrazin. Pendant toute l'année, l'éclairage ira jusqu'à minuit, et en outre, le matin des jours d'hiver, la lumière électrique fonctionnera jusqu'au lever du soleil.

Ce projet ne comporte aucune augmentation de prix sur l'éclairage public actuel. Son adoption sera, à n'en pas douter, un sérieux progrès.

Dieppe. — D'après son traité avec la ville, la Compagnie du gaz s'était engagée à éclairer la plage de Dieppe en établissant une rangée de becs allant de la Jetée au Casino; mais jusqu'à présent elle ne se s'est pas exécutée. Aussi les habitants prévoyant l'effet peu brillant de la lumière pâlotte et tremblante des becs de gaz, demandent-ils que la Société d'électricité de Dieppe pose sur la belle pelouse, que tous les Parisiens connaissent, une demi-douzaine de lampes à arc avec réflecteurs, formant écran du côté de la mer et projetant toute la lumière sur la pelouse.

Cette demande sera-t-elle entendue? Nous n'osons l'espérer.

Enguibaut (Tarn). Labourage à l'électricité. — Une nouvelle et heureuse application de l'électricité à l'agriculture vient d'être faite chez M. Prat, grand propriétaire à Enguibaut, près Saint-Paul-Cap-de-Joux, (Tarn).

Voici en quoi elle consiste :

Il a été installé sur une chute existant dans la

Digitized by Google

propriété, une turbine de 30 chevaux, actionnant une génératrice de 40 ampères sous 375 volts.

La propriété, d'une longueur de 2.000 mètres, a été divisée en deux par une ligne électrique aérienne fixée sur poteaux et isolateurs. La charrue est remorquée par un treuil mû par une réceptrice de 40 ampères sous 325 volts.

Le treuil comporte deux tambours sur lesquels s'enroulent les câbles de traction de la charrue pour l'aller et le retour. Ce treuil, supporté par quatre galets roulant sur deux rails posés sur le sol, est déplacé tous les 4 ou 5 sillons. La ligne aérienne est reliée à la dynamo du treuil par deux câbles isolés réunis sous la même enveloppe, et d'une longueur de 200 mètres; ce câble est enroulé sur un tambour, monté sur le treuil manœuvrable à la main par une manivelle.

La prise de courant des câbles isolés sur la ligne se fait au moyen de deux étaux en bronze; il suffit de quelques minutes pour changer les prises de ces câbles, lesquels ne se déplacent d'ailleurs que tous les deux ou trois jours. Les câbles de traction de la charrue ont 250 mètres de longueur: on peut donc labourer à 400 mètres environ de chaque côté de la ligne, soit une surface de 1800×800=144 hectares.

Cette station, la première en France véritablement agricole a été faite, non pour des expériences, mais à titre définitif, en vue du défoncement des terrains de cette propriété et pour actionner les diverses machines agricoles telles que batteuses, faucheuses, faneuses, hache-paille, égrenoir, baratte à beurre, etc. Lors des essais, le sol argilo-siliceux était très humide et collant par suite des neiges et des pluies hivernales; le défoncement s'est fait à 0,60 de profondeur et 0,50 de largeur, la charrue marchant à 26 m. 50 par minute; dans ces conditions il se faisait environ un demi-hectare par jour et la puissance nécessaire était relativement grande, mais cela était dû surtout au mauvais état du sol. Certainement, lorsque le terrain sera sec, cette puissance sera réduite de moitié.

Malgré ces circonstances déplorables, le travail s'est poursuivi et les résultats ont été des plus satisfaisants.

Le côté mécanique avait été traité par M. Taillade, ingénieur, attaché à la maison veuve Désiré Bonnet, de Toulouse.

Le côté électrique avait été confié à M. L. Delgay, ingénieur électricien, à Pau.

Gérardmer. — Le tramway de Gérardmer à Retournemer et à la Schlucht dont nous avons déjà parlé (n° 6, 1895) doit, paraît-il, être prolongé jusqu'à Munster (Alsace). La première partie de la ligne est en construction; le prolongement n'est encore qu'en projet, mais étant donné l'intérêt qu'y attachent les habitants de la vallée de Munster, on ne saurait douter qu'une solution favorable n'intervienne.

Laval. — Un récent jugement du Conseil de préfecture de Maine-et-Loire avait navré les partisans de l'électricité; par contre, il avait permis au directeur de la Compagnie du gaz de dire : « Laval aura l'électricité quand nous voudrons. » Or, il n'en sera peut-être pas ainsi. On se rappelle que la ville de Lillebonne, se basant sur un article de son traité avec le Gaz, article réservant l'application des systèmes d'éclairage autre que le gaz, a su maintenir toute sa liberté d'action relativement aux concessions qu'elle voudrait accorder (n° 5, 1895).

Il se trouve que la ville de Laval a l'avantage, dans le traité qu'elle a signé avec la Cie Stears, d'avoir un article que nous citons ici, et qui pourra peut-être motiver une délibération du Conseil municipal.

« Dans le cas où de nouveaux procédés inconnus jusqu'à ce jour et consacrés par l'expérience auraient pour résultat un abaissement notable dans le prix de revient du gaz, ou si, par suite d'une nouvelle découverte, un mode d'éclairage plus parfait, aussi commode et *plus économique* que celui par le gaz était mis en usage dans deux villes d'une importance égale à celle de Laval ou d'une importance moindre, M. Stears s'engage à faire profiter l'éclairage public et particulier de la ville de Laval des avantages qui en résulteraient, et cela deux années après que l'expérience en aurait attesté l'application économique dans les dites villes. »

Lille. — Les premiers essais de traction électrique à Lille ont eu lieu au commencement du mois sur la ligne du pont du Laboureur à la place de Wattrelos.

Le tramway électrique fonctionnera sous peu sur toutes les lignes.

Limoges. — Les propositions de M. Rougerie que nous avons publiées en détail (n° 1, 1895) ont été examinées par la Commission municipale de

Digitized by Google

l'électricité. Aux termes du cahier des charges, M. Rougerie est autorisé à établir des câbles et fils destinés à la distribution de la lumière dans le secteur délimité par la ligne des boulevards. L'autorisation n'est accordée à M. Rougerie que jusqu'au 31 décembre 1930.

Dans une prochaine séance le Conseil se prononcera sur cette intéressante question.

Lyon. — Plusieurs soumissionnaires se sont présentés à l'adjudication faite, par la Société lyonnaise des forces motrices du Rhône, des travaux métalliques du Canal de Jonage.

Il reste seulement à adjuger la partie électrique. Cette entreprise importante est poussée activement et tout fait présumer qu'à la fin de l'année prochaine elle sera terminée.

Réalmont (Tarn). — On vient de capter à Peyrebrune, à l'aide d'un canal de 200 mètres de longueur, les eaux du Dadou qui, fournissant ainsi une chute de 11 m. 80 donneront une force motrice de 500 chevaux qui actionnera des dynamos.

Cette entreprise est due à M. Soulages, un des actionnaires des usines de Peyrebrune qui compte relier cette dernière localité à Graulhet, situé à 27 kilomètres, en passant par Réalmont, lequel profiterait comme Graulhet de l'énergie électrique ainsi produite pour l'éclairage et la distribution de force motrice dans les mégisseries.

Rouen. — La création des tramways électriques n'ayant pas été sans rencontrer d'assez nombreuses difficultés, la population de Rouen avait pu craindre que la transformation ne serait pas achevée pour le 1er avril 1896, comme on l'avait promis. Ces craintes n'étaient pas fondées.

Il nous revient, en effet, que la mairie vient de recevoir avis que les contrats sont passés; que les travaux vont commencer sous peu de jours, que l'inauguration des cars électriques sur une des lignes (celle de Maromme) sera possible au milieu de l'été prochain, et qu'ils circuleront sur tout le réseau — le nouveau comme l'ancien — avant la fin de décembre.

Saintes. — M. Mora, ingénieur de la Compagnie Édison, avait demandé l'autorisation de placer des fils au-dessus des rues.

La Compagnie Édison était toute disposée à établir à Saintes, une usine d'éclairage électrique, sans demander aucun engagement préalable aux commerçants, sûre qu'il y aurait des avantages considérables pour eux, devant lesquels ils n'hésiteraient pas un instant à abandonner le gaz.

On se demande pourquoi la municipalité n'a pas donné cette autorisation qui est dans le domaine de son droit absolu.

Bien mieux, il est question de proroger de vingt-trois ans le traité qui lie la ville de Saintes avec la Compagnie du gaz.

Semur. — Le procès qu'avaient intenté à la ville de Semur MM. Stern et Cie, au sujet de l'installation à Semur d'une station d'électricité, vient de prendre fin. L'arrêt du Conseil d'État a été rendu vendredi, conformément aux conclusions du commissaire du gouvernement; il confirme absolument la jurisprudence antérieure.

Le recours de la ville de Semur est rejeté.

L'éclairage électrique dans les environs de Genève. — Un comité provisoire vient de se constituer pour étudier la création, à Chêne-Bougeries, d'une station centrale d'éclairage électrique devant desservir Chêne-Bougeries, Chêne-Bourg, Thônex, Veyrier, Vandœuvres et Coligny, et, éventuellement, les communes avoisinantes qui réuniraient un nombre suffisant d'abonnés. L'usine de Chèvres fournirait probablement la force motrice. Le prix de la lampe-heure de 16 bougies serait fixé à 4 centimes.

Communication téléphonique entre les navires et la côte. — On doit au professeur Blake un procédé permettant d'effectuer cette communication. Jusqu'à présent on n'avait pas réussi parce que le bateau à l'ancre se meut constamment et rompt tous les liens peu résistants comme les câbles électriques. L'idée de Blake, c'est de se servir de la chaine d'ancrage comme conducteur, de la prolonger même par une autre chaîne fixée à l'ancre et reposant sur le fond dans la direction de la côte. Le câble électrique est attaché à l'extrémité de cette chaine que les mouvements du navire n'affectent aucunement; et c'est de cette manière qu'on a pu téléphoner de Sandy Hook au bateau-phare de Scotland.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Digitized by Google

Tome III. Samedi 20 Avril 1895. 2e Année. — N° 16.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

CALCUL ET CONSTRUCTION

DES MACHINES DYNAMOS

A COURANT CONTINU (1)

Nous avons à traiter de la partie pratique de ce qui concerne les machines; nous commencerons par nous occuper des dynamos à courant continu.

On peut affirmer hardiment qu'aucun type de dynamos n'a de supériorité de principe sur un autre; mais un type de machines peut avoir une supériorité d'application pour une destination donnée. Ainsi les induits à anneau, les induits à tambour et les induits à disque forment trois classes qui se présentent avec des propriétés particulières; quant aux systèmes inducteurs, il y en a une variété infinie.

La construction des dynamos est aujourd'hui assez sûre pour qu'on puisse spécialiser une machine à l'application en vue. Dans un projet de dynamo, il ne suffit plus de savoir le nombre de volts et le nombre d'ampères que doit fournir la machine; il faut encore connaître entre quelles limites pourront varier la différence de potentiel et le débit, en service normal. Ainsi l'éclairage d'une usine exigera une lumière aussi régulière que possible avec peu de surveillance; on devra réaliser dans ce cas, une machine à potentiel constant. Au contraire, dans une usine centrale, les dynamos devront présenter une certaine élasticité dans le voltage; enfin, la charge d'accumulateurs nécessite plus d'élasticité encore.

C'est par l'étude de la caractéristique de la dynamo que l'on pourra juger si la machine projetée convient au cas particulier. Ce que nous appelons caractéristique d'une machine est la courbe obtenue en portant en ordonnées l'induction $\mathfrak{B}$ dans l'induit et en abscisses les ampères-tours par centimètre de longueur du circuit, ou de l'un des circuits magnétiques de la machine, s'il y en a plusieurs.

La force é. m, étant une fonction de l'induction utile quand la vitesse est constante, la même courbe représentera, sauf changement d'échelle, la relation entre les volts et les ampères-tours d'excitation.

Soit une machine excitée en simple dérivation : si on mène une droite telle que OV (fig. 1), la résistance du circuit inducteur qui donnera la force é. m. M V, est égale à tang α. On voit donc que, si la caractéristique a une courbure très prononcée, pour une assez grande variation de cette résistance la variation de voltage de la machine sera très faible, pourvu que le point V soit choisi au delà du coude de la caractéristique.

J'aurai ailleurs occasion de revenir sur ce point un peu plus tard.

(1) Conférence faite au Laboratoire central d'électricité, le 21 mars 1895.

Digitized by Google

On emploie de préférence les machines bipolaires pour les débits moyens, parce qu'elles sont moins compliquées que les multipolaires. Mais dès qu'on arrive à un débit un peu fort, les machines multipolaires sont préférables. L'inconvénient des machines multipolaires est de nécessiter un collecteur très développé et pourvu de liaisons spéciales, à moins de multiplier le nombre des balais. Deux raisons principales font rejeter les machines bipolaires pour les débits élevés : dans ces machines, il devient difficile de supprimer les étincelles aux balais quand on

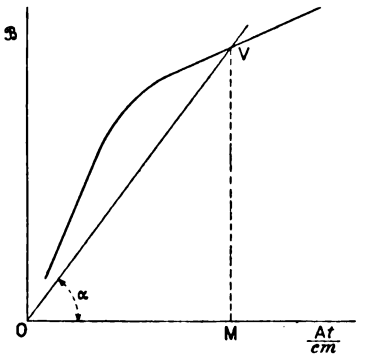


Fig. 1. — Caractéristique d'une machine.

augmente les dimensions, car la réaction de l'induit sur les pièces polaires peut arriver à renverser le magnétisme à la pointe du pôle inducteur. En second lieu, la puissance dissipée dans l'induit étant proportionnelle au volume, qui augmente plus vite que la surface, le refroidissement devient de plus en plus difficile à mesure que la puissance augmente. L'expérience a montré que jusqu'à 80 kilowatts environ on peut se servir de machines bipolaires. Au delà de ce chiffre, on doit préférer des machines à quatre pôles. On devra encore augmenter ce nombre de pôles à mesure que la puissance augmentera.

Prenons un exemple pratique : soit à construire une machine de 75 kilowatts débitant 300 ampères sous 250 volts, avec des variations de voltage modérées. Si la vitesse est arbitraire on la choisira assez grande pour être dans de bonnes conditions pratiques. Avec un induit à tambour, que nous prenons pour exemple, on ne doit pas dépasser une vitesse périphérique de 15 à 17 mètres. Admettons le chiffre très modéré de 360 tours par minute, le diamètre extérieur de l'induit étant de $0^m,600$ et la machine étant à quatre pôles.

Dans ces conditions, le fil de l'induit sera traversé par un courant de $\frac{300}{4} = 75$ ampères. Pour une machine de 75 kilowatts, la densité de courant dans l'induit ne doit pas dépasser la valeur 3 à 4 ampères par millimètre carré ; nous pourrons donc prendre un fil de 20 mm. de section, soit environ 5 mm. de diamètre nu, et 6 mm. lorsque le fil est recouvert.

En superposant deux couches de fil sur le tambour, l'entrefer sera encore très acceptable. Nous aurons en effet :

Isolant sur le tambour . . .	$1^{m/m}$	entrefer simple $10^{m/m}$
Deux fils de $6^{m/m}$	12	
Cerclage en fil de 8/10 de $^{m/m}$	1	
Jeu.	2	

Or nous savons que l'entrefer peut varier dans les bonnes machines à induit lisse sans denture entre 12 et 20 m.

Par excès de prudence, nous pourrions mettre sur l'induit un câble formé de plusieurs fils tordus ensemble au lieu d'un simple fil de 5 mm. Le contact imparfait qui existe entre les fils suffira pour diminuer notablement les courants de Foucault. On passe généralement ces câbles dans une filière qui leur donne une section rectangulaire, ce qui permet de les placer plus facilement et de mieux utiliser la surface de l'induit. Ajoutons que dans la pratique, on peut quelquefois ne pas trop se préoccuper des courants de Foucault, qui prennent naisance dans la masse même d'un fil assez gros. Ces fils massifs permettent de mieux employer l'espace, et diminuent la résistance intérieure de la machine ; cette diminution peut souvent compenser la perte due aux courants de Foucault. Mais il ne faut pas aller trop loin dans cette voie.

Calculons maintenant le nombre de spires que nous pourrons mettre sur l'induit. Consi-

Digitized by Google

dérons une section droite de la surface du tambour ; c'est une circonférence dont le quart vaut $\frac{\pi \times 600}{4} = 471$ mm. En divisant ce nombre par le diamètre du fil, on trouve $\frac{471}{6} = 78$. On pourrait donc mettre sur le quart de l'induit 78 fils. Mais il faut laisser la place pour les cales d'entraînement, car, pour une machine d'une centaine de chevaux, l'effort d'arrachement, qui s'exerce exclusivement sur les fils du tambour, est considérable. Nous mettrons pour cette raison, seulement 75 spires de fil entre deux balais. Nous aurons donc sur le tambour 600 bouts de fil de 5 mm. disposés en deux couches. Nous mettrons au collecteur 300 lames, car il ne faut pas craindre d'exagérer le nombre de lames du collecteur, les étincelles aux balais devenant ainsi plus rares.

Pour déterminer le flux de force Φ qui doit traverser une spire de l'induit, il suffit d'appliquer la formule $E = n \frac{d\Phi}{dt}$ qui, mise sous une forme plus commode, donne

$$\Phi = \frac{30 \times E \times 10^8}{N n p},$$

N étant le nombre de tours par minute ; n, le nombre de spires en série et p, le nombre de pôles.

Dans l'exemple que nous avons choisi, on a

$$\Phi = \frac{30 \times 250 \times 10^8}{300 \times 75 \times 4} \times 10^6.$$

En effectuant les calculs, on trouve pour valeur de Φ environ 7×10^6.

Une induction de 12.500 dans le fer de l'induit permettra une élasticité suffisante dans le voltage. Si l'on désirait au contraire obtenir un voltage très constant, il faudrait magnétiser plus fortement le fer de l'induit. Remarquons que, dans ce dernier cas, le fer, consommant une plus grande quantité d'énergie, s'échaufferait davantage ; on serait donc amené à diminuer, par compensation, la quantité de chaleur due à l'effet Joule, c'est-à-dire à admettre dans l'induit une densité de courant plus faible que si le fer n'était pas aussi saturé.

La principale dépense d'excitation est faite dans l'entrefer. Prenons pour intensité du champ dans l'entrefer H = 4.000. Ces données vont nous permettre de déterminer la longueur du tambour et son épaisseur. En effet la surface du quart de l'induit devra être égale à $\frac{\Phi}{H} = \frac{7000}{4} = 1750$ cm², ce qui donne pour longueur du tambour $l = \frac{1750 \times 4}{\pi \times 60} = 36$; nous prendrons $l = 40$ cm.

L'épaisseur du fer de l'induit sera $\varepsilon = \frac{\omega}{40}$ ω étant la section du tube par un plan passant par l'axe ; or

$$\omega = \frac{\Phi}{\mathfrak{B}} = \frac{7 \times 10^6}{12500} = 560^{cm^2};$$

d'où $\varepsilon = \frac{560}{40} = 14$ cm.

On aura pour diamètre intérieur d = 0 m. 320.

Il est inutile de mettre plus de tôle, car si l'on en mettait davantage, on ne diminuerait pas l'induction moyenne dans l'induit. Supposons en effet une tôle pleine jusqu'au centre : les lignes de force passeront de préférence par le chemin le plus court ; elles éviteront en

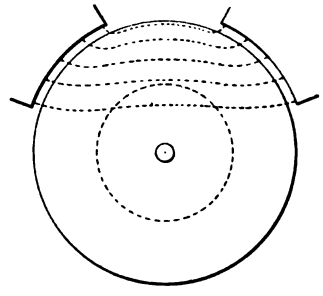


Fig. 2. — Lignes de force.

quelque sorte l'axe du cylindre pour se concentrer près de la surface (fig. 2). Il y a donc tout avantage à enlever le fer à l'intérieur de l'induit, le cylindre ainsi enlevé pouvant être utilisé pour une petite machine.

Calculons maintenant l'inducteur. Supposons que nous ayons des idées arrêtées sur la

Digitized by Google

manière dont nous voulons le construire. L'inducteur se composera, par exemple, de noyaux de fer, pourvus d'épanouissements polaires et réunis par une masse en fonte, comme l'indique la figure 3. Nous devons développer dans le fer inducteur un flux de force $v\Phi$; dans cette machine, on pourra prendre pour le coefficient v d'Hopkinson la valeur 1,35 ce qui donne

$$v\Phi = 1{,}35 \times 7 \times 10^6 = 9{,}5 \times 10^6.$$

Nous faisons travailler le fer à une induction de 12.500, ce qui donne pour section

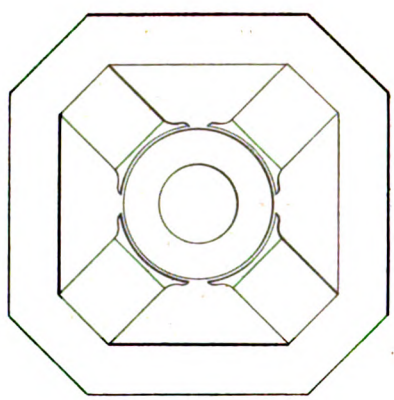


Fig. 3. — Schéma d'inducteur.

du noyau $S = \frac{v\Phi}{\mathfrak{B}} = \frac{9.5 \times 10^6}{12500} = 760$ cm.^{2}; cette section correspond à un diamètre de $\left(\frac{760 \times 4}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} = 30$ cm.

Donnons aux noyaux une hauteur de 35 cm. nous la changerions si par hasard elle ne convenait pas.

Dans la disposition ci-dessus, le circuit magnétique est assez long dans la fonte; nous devons la faire travailler à une induction modérée. Prenons donc $\mathfrak{B} = 8.000$. Le flux qui traverse la culasse est égal à la moitié du flux total, la section de la fonte sera donc $\sigma = \frac{v\Phi}{2 \times 8000} = \frac{5.10^6}{8000} = 625$ cm.^{2}, et l'épaisseur $\frac{625}{30} = 21$. Nous donnerons à la culasse 22 cm. d'épaisseur.

Il nous reste encore à déterminer le bobinage de l'inducteur. La manière pratique d'opérer est d'utiliser un tableau donnant, en ampères-tours par centimètre, la valeur de l'excitation pour différents matériaux.

Nous obtenons le tableau suivant :

Longueur du circuit	Matériaux	Induction prévue	$\frac{At}{cm}$	Ampères tours
45^{cm}	fer	12500	8,5	383
3 2	entrefer	4000	3200,0	10240
70	fer	12500	8,5	595
120	fonte	8000	64,0	7680
			Total. . . .	18898

Soit au total 19.000 ampères-tours par circuit magnétique. Mais chaque circuit contient, avec notre forme, deux bobines inductrices; chacune d'elles devra donc recevoir la moitié de cette excitation. Pour déterminer le fil à employer, il faut se guider sur la perte d'énergie consentie pour l'excitation totale. Cette perte est généralement comprise entre 4 et 6 p. 100 de la puissance normale de la machine. Dans le cas actuel nous pouvons consentir à une perte d'environ 3.000 watts. L'excitation étant en dérivation, l'intensité du courant traversant le fil de l'inducteur sera $\frac{3000}{250} = 12$ ampères; la résistance du fil sera $\frac{250}{12} = 21$ ohms.

Les ampères-tours calculés plus haut sont, pratiquement, trop faibles. Il faut forcer le nombre à cause de la réaction d'induit. En majorant ce résultat de 15 à 20 p. 100, on sera dans la vérité pour une machine en pleine charge; nous prendrons donc 23.000 ampères-tours par circuit, ou 11.500 par bobine d'inducteur. Le nombre de spires autour de chacune sera donc $\frac{11500}{12} = 960$ spires environ. Le diamètre moyen d'une spire étant environ 35 cm. la longueur totale du fil est donc connue. Sa résistance $\frac{21}{4} = 5{,}75$ ohms, l'est aussi. Sa section l'est donc également.

Le calcul serait exactement le même pour

Digitized by Google

une machine excitée en série ; c'est alors l'intensité qui serait connue d'avance, et la perte de charge Ri qui serait à calculer d'après la consommation d'énergie consentie pour l'excitation.

R. PICOU.

Ingénieur des Arts et Manufactures.

LES APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ (1)

L'électricité se prête, cela va sans dire, très bien à la commande à distance, par servo-moteurs ou autrement, de toute espèce de mécanismes, notamment des dynamoteurs et des distributions des machines motrices, que l'on commence à désigner, dans cette acceptation, sous le nom général de *télémoteurs*. Les applications de ce genre sont déjà très nombreuses, et nous en avons donné, ici même, un intéressant exemple par la description du manipulateur *Canet Hillairet* (2).

M. Dunlap Williamson, qui a beaucoup étudié cette question, a récemment proposé quelques types de manipulateurs ou télémoteurs électriques très ingénieusement étudiés. Nous allons en décrire avec quelques détails, l'une des applications à la commande à distance d'une machine de gouvernail pour navires : problème qui a, comme on le sait, déjà préoccupé un grand nombre d'ingénieurs électriciens (3).

Voici comment fonctionne la transmission télémotrice de M. Williamson représentée par les figures 1 à 19.

Quand le timonnier tourne sa roue de gouvernail 1, — son manipulateur — dans la direction de la flèche figure 1, ce mouvement fait tourner par un train de pignons faciles à suivre, l'arbre horizontal 9 et sa came hélicoïdale 11 (fig. 3), laquelle repousse le manchon ramuré 12 et son levier 14, pivoté en 16, de manière à amener le bras 19 du commutateur 17 sur les touches 26 et 29, et le bras 22 sur 30, 31. En même temps, la transmission 34 amène le bras 37 sur le contact correspondant du cadran 38 à la position voulue du gouvernail : sur le point 212 par exemple, auquel on arrête la roue 1.

Dans cette position, le courant du câble 110 passe (fig. 2 et 3) par 29, 19, 26, 111, 41, 37, à la borne 212 du cadran 38, puis, par l'un des fils 71 (fig. 20) à la borne 212 de la plaque fixe 70, au segment 78 (fig. 14) de la roue 77, calée sur l'arbre 36, d'où il va, par le fil 212, traverser de 57 à 58 l'armature du moteur 56, pour revenir au circuit en 115 par 113, 22, 30, 31, 17 et 114.

La rotation du moteur 36 entraîne alors, par l'embrayage 82, l'arbre 83 (fig. 2) dont le filetage 86 (fig. 17) entraîne par le manchon 87, et malgré les ressorts 93, le collet 90, qui commande par 95. 98 la distribution de la machine à vapeur 104 du gouvernail. Cette prise de vapeur reste ouverte jusqu'à ce que le mouvement même du tambour 103 des chaînes du gouvernail ait, par la roue 100 et le pignon 101 du manchon 87, ramené ce manchon à sa position primitive sur l'arbre 83, ainsi que le collet 90, par l'intermédiaire des ressorts 93, assez puissants pour entraîner 90 dans les deux sens. D'autre part, la rotation de l'arbre 62 a, (fig. 14) par 63, 64, 65, 66 (fig. 1) entraîné la plaque 77 sur le cadran fixe 70 ; et, dès que le segment 80 (fig. 12) de cette plaque arrive ainsi sur la touche 212, il coupe le circuit du moteur, et l'envoie, par 80, 116, à l'électro-aimant 117 (fig. 2) qui serre un frein électro-magnétique 118, ou met le moteur en court circuit de manière à l'arrêter immédiatement. Comme les pignons 100 et 101 sont calculés de manière à ramener le manchon 87 à sa position primitive dès que le gouvernail a pris la position correspondante à celle de la roue 1, on voit que ce mécanisme agit bien en servo-moteur.

Supposons maintenant que l'on tourne la roue de timonerie en sens contraire de la

(1) *L'Eclairage électrique*, 6 avril 1895, p. 13.
(2) *Id.*, 8 décembre, p. 587.
(3) *La Lumière électrique*, 27 janvier 1894, p. 169.

Digitized by Google

flèche figure 1, de manière à amener le bras 37 | par exemple, de la touche 212 à 214. Ce mou-

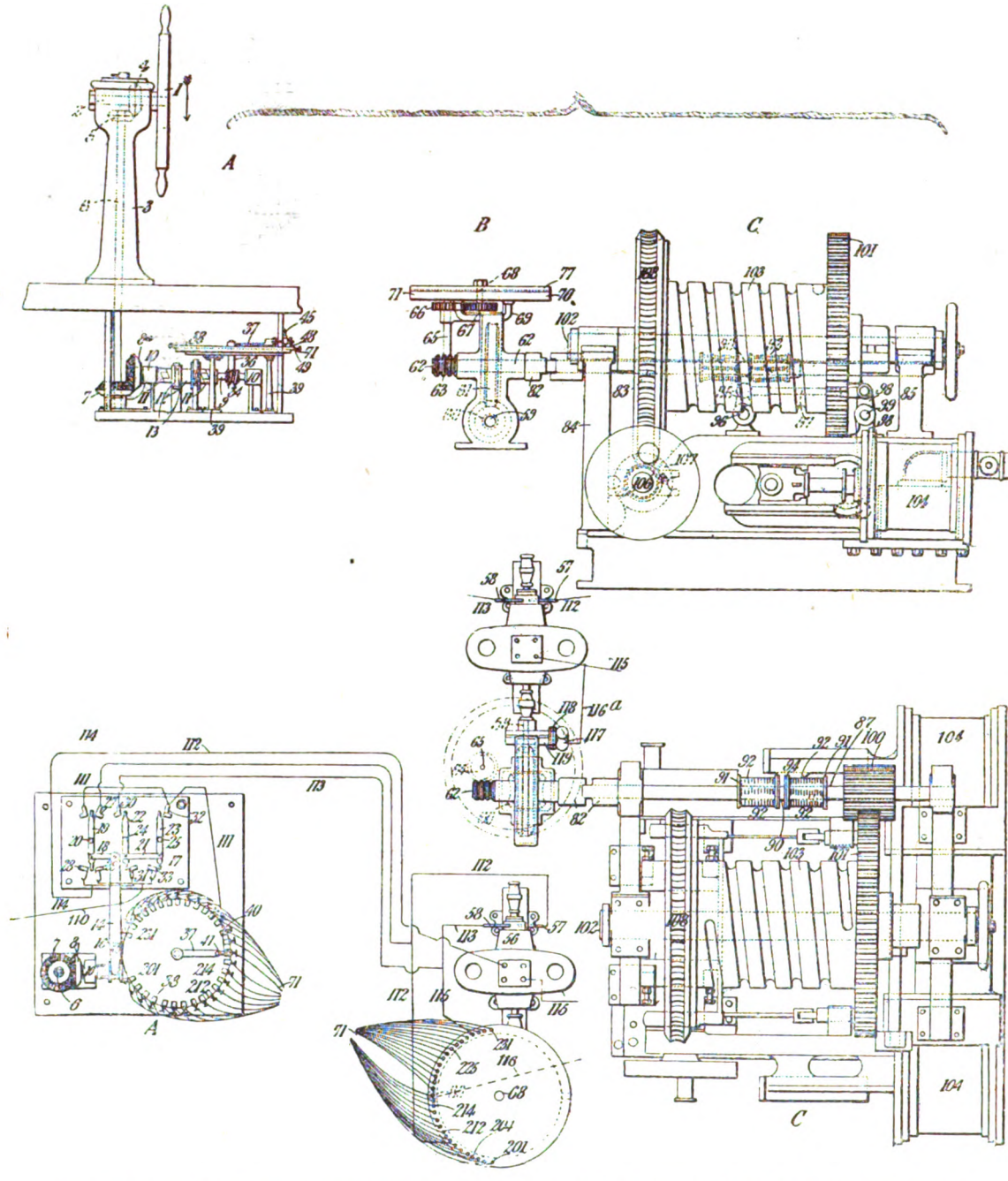


Fig. 1 et 2. — Télégouvernail Dunlap Williamson. Ensemble de l'appareil, élévation et plan schématique.

vement aura eu pour effet, en repoussant le | levier 14 en sens contraire de précédemment,

Digitized by Google

de droite à gauche, par exemple, d'amener le bras 19 du commutateur 17 sur 28, 27 ; le bras 25 sur 33, 22, et de couper du circuit le bras 22. Le courant traverse alors la dynamo en sens opposé de précédemment, par (110, 23, 33 32, 111, 41, 37, 214, 38, 71, 214, 70, 79, 77, 113 [58, 56, 57], 112, 27, 28, 17, 114), de sorte que le gouvernail se met à tourner en

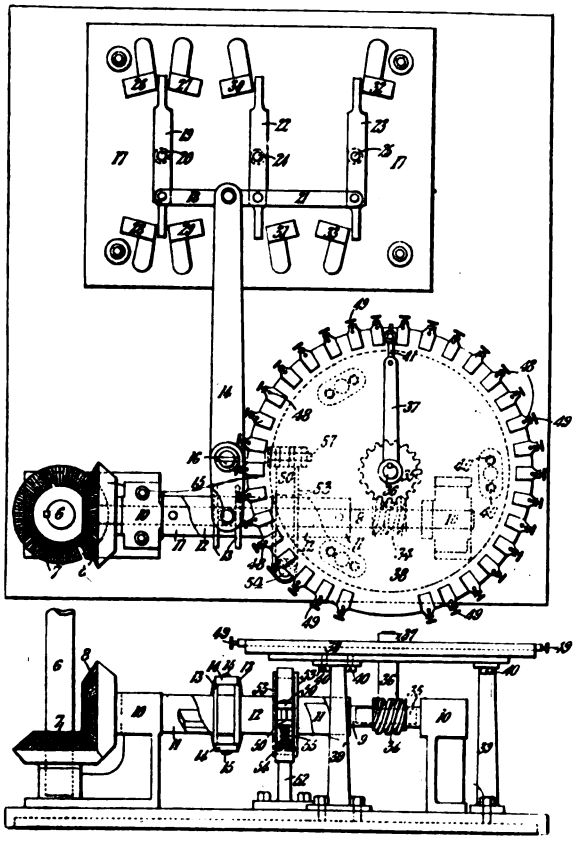


Fig. 3 et 4. — Télégouvernail Dunlap Williamson. Détail du transmetteur A (fig. 1).

sens contraire, jusqu'à ce que, par le même processus que précédemment, le segment 80 de la plaque 77, ramené sur la touche 214, ait de nouveau arrêté le moteur.

Comme détail de construction, je signalerai la disposition de l'extrémité du bras 37 (fig. 6) articulé en 42 de manière, qu'en passant d'une touche à l'autre, il soit placé d'abord, comme l'indique le tracé pointillé, malgré le ressort 44 sur le taquet 49, puis se détende vivement en quittant ainsi rapidement sa touche pour passer sur la suivante sans produire d'étincelle.

Le manchon 12 est pourvu (fig. 3, 4, 8 et 9) d'un frein automatique qui l'empêche de tourner avant que le commutateur 21 ne soit arrivé

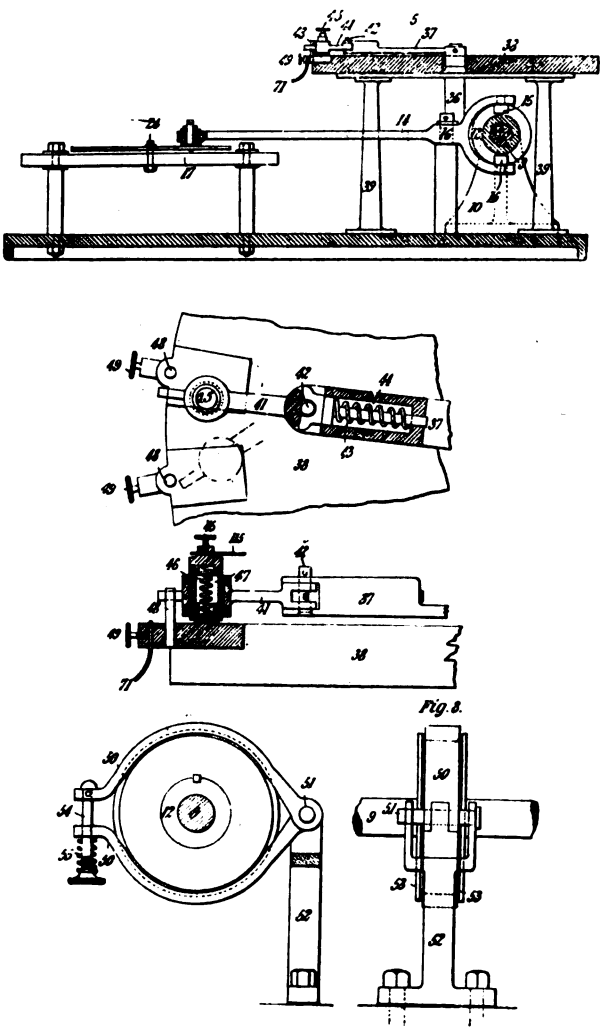


Fig. 5 à 9. — Télégouvernail Dunlap Williamson. Détail du transmetteur, coupe verticale de la figure 3, détail du bras 37 et du frein 50.

à l'une de ses positions limites. Ce frein est composé de deux mâchoires 50. 50 accrochées à une charnière fixe 51, et serrées par un ressort 55 sur un petit tambour du manchon 12.

Enfin, ainsi qu'on le voit, (fig. 16), chacune des touches du quadrant 70, numérotées de 201 à 231, encastrées dans un segment isolant,

Digitized by Google

est pourvue d'un contact à ressort *b c*, l'appuyant fortement sur le segment correspondant 80 ou 78 de 77 ; et cette dernière plaque roule sur des galets 73.

L'électricité peut aussi parfaitement s'appliquer comme auxiliaire pour le fonctionnement des avertisseurs et dans les mécanisme télémoteurs ordinaires, hydrauliques par exemple,

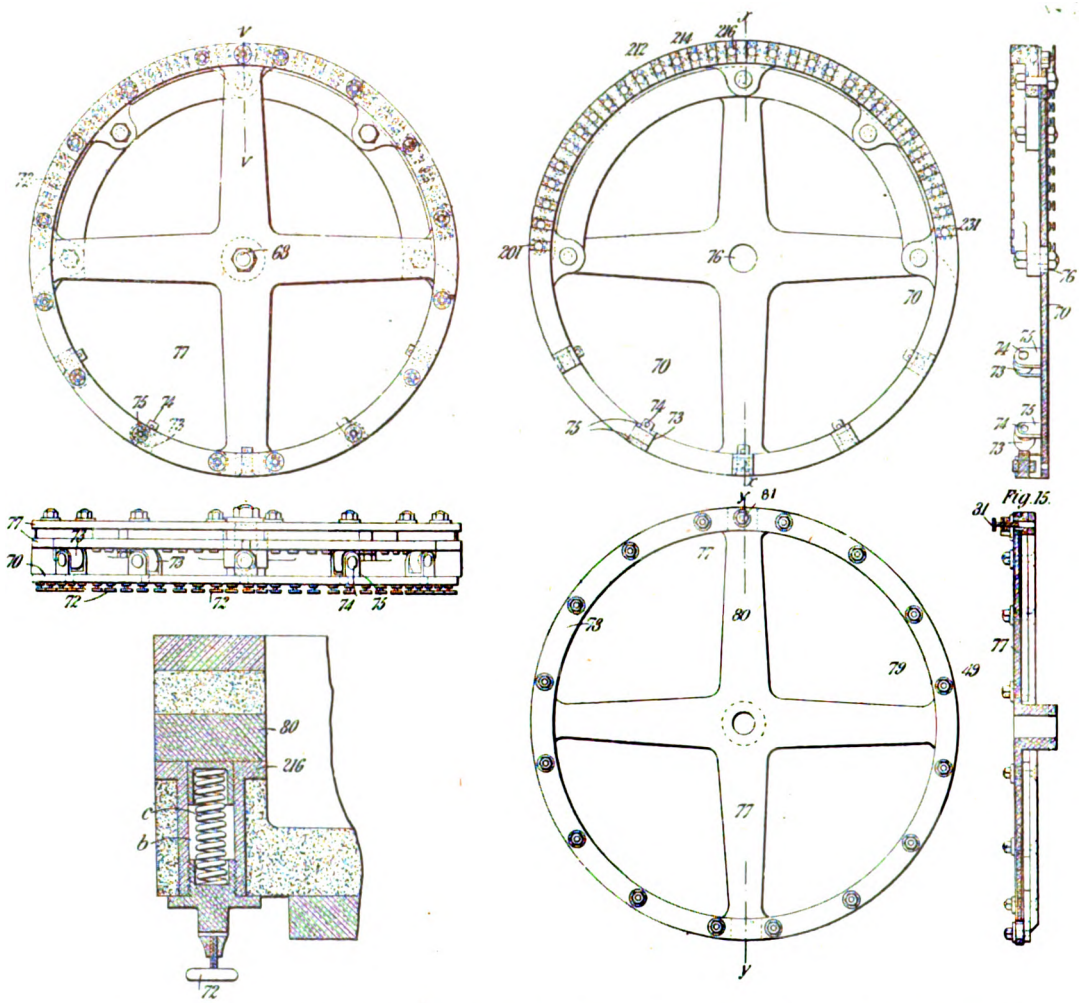


Fig. 10 à 16. — Télégouvernail Dunlap Williamson. Détail du transmetteur B (fig. 1), plans, vue latérale, coupes *xx* (fig. 12), *yy* (fig. 14) et *vv* (fig. 10).

comme ceux des appareils bien connus de *A.-B. Brown* (fig. 20 à 25).

Dans ce système, le transmetteur est (fig. 21) constitué par un cylindre hydraulique A, avec soupapes de sûreté A_1 A_1, et piston A_2, commandé par la transmission à crémaillère A_3 A_4. Ce cylindre est relié par des tuyaux A_5 A_6 aux extrémités du cylindre inférieur B (fig. 23 à 25) avec piston analogue B_1, à ressort de rappel B_4 B_5 et transmission B_3 B_2, de sorte que, le le système étant complètement rempli par exemple d'eau glycérinée, les deux pistons A_2 et B_2 se meuvent synchroniquement.

L'axe B_5 de B_2 porte un bras C, avec taquet C_1, actionnant les aiguilles D et E, folles sur B_5, et dont les manchons D_1 et F_1 portent des

Digitized by Google

pignons D_2 et F_2, en prise avec les armatures D_3D_4 et F_3F_4 des électros D_5 et F_5. Il en résulte que, toutes les fois que le piston du récepteur, actionné à distance par celui du transmetteur, amène l'une des aiguilles : D par exemple, dans la position indicatrice d'un ordre ou d'une manœuvre donnée sur son cadran G, cette aiguille reste enclanchée par D_3 F_3, sans empêcher l'autre, C, de revenir à sa position neutre ou médiane de sa course, en même temps que les pistons A_2 et B_2. Quand l'aiguille occupe cette position, comme en figure 23, les tuyaux A_4 et A_5 du télémoteur communiquent librement par A_7 A_8 A_9 en A.

D'autre part, le mouvement de l'une quelconque des aiguilles D et F fait, par les ressorts D_6 F_6 des armatures D_4 F_4, vibrer les marteaux D_7 F_7 de la sonnerie H. Quand l'axe B_5 et son bras C sont amenés par le transmetteur à la position neutre, C ferme le circuit de D_5 F_5, dont les armatures D_4 F_4 se mettent à vibrer, en lâchant, cran par cran de

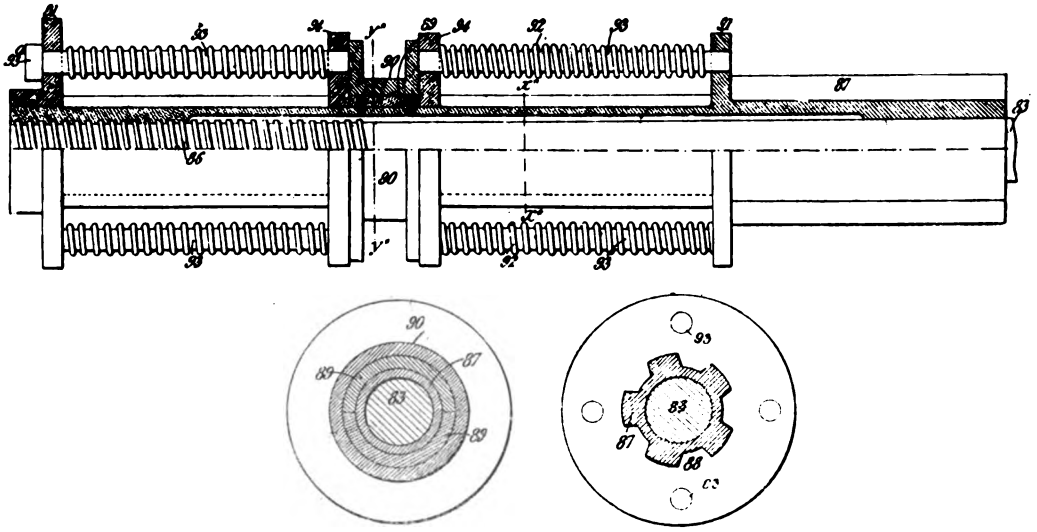


Fig. 17 à 19. — Télégouvernail Dunlap Williamson. Détail de la manœuvre de la prise de vapeur. Demi-coupe longitudinale, coupes *yy* et *xx*.

D_1 et F_1, les aiguilles D et F, que les ressorts D_8 D_9, F_8 F_9 ramènent ainsi automatiquement à la position neutre.

En résumé, les deux aiguilles D et F sont indépendantes, et marquent sur leurs quadrants; des signaux d'ordres différents; chacune de ces aiguilles restant immobile pendant que l'autre se déplace. En outre, chaque déplacement d'une aiguille, à partir de sa position neutre, est signalé par une sonnerie. Une fois l'ordre reçu au récepteur, on en téléphone réception au transmetteur, qui ramène son appareil au zéro, en même temps que l'aiguille C du récepteur; et ce mouvement a, comme nous venons de le voir, pour effet d'exciter les électro-aimants des récepteurs, dont les deux aiguilles, D et F, sont ainsi ramenées automatiquement au zéro.

Les applications de l'électricité a *la régularisation des machines motrices* de toutes sortes sont déjà très nombreuses (1) et certainement destinées à se multiplier de plus en plus. Il est même probable que la régularisation si délicate des machines à vapeur des stations électriques ne pourra guère être résolue d'une façon satisfaisante que par l'intervention d'un modérateur électrique agis-

(1) *La Lumière électrique*, 27 janvier 1894, p. 170.

Digitized by Google

sant en fonction directe du potentiel ou de l'intensité du courant.

Le régulateur représenté par les figures 26 à 29 est un perfectionnement des types bien connus de *Goolden Ravenshaw et Trotter* (1). Il peut s'appliquer au réglage des circuits etc. aussi bien qu'à celui des moteurs de toute espèce. Suivant que le moteur s'accélère

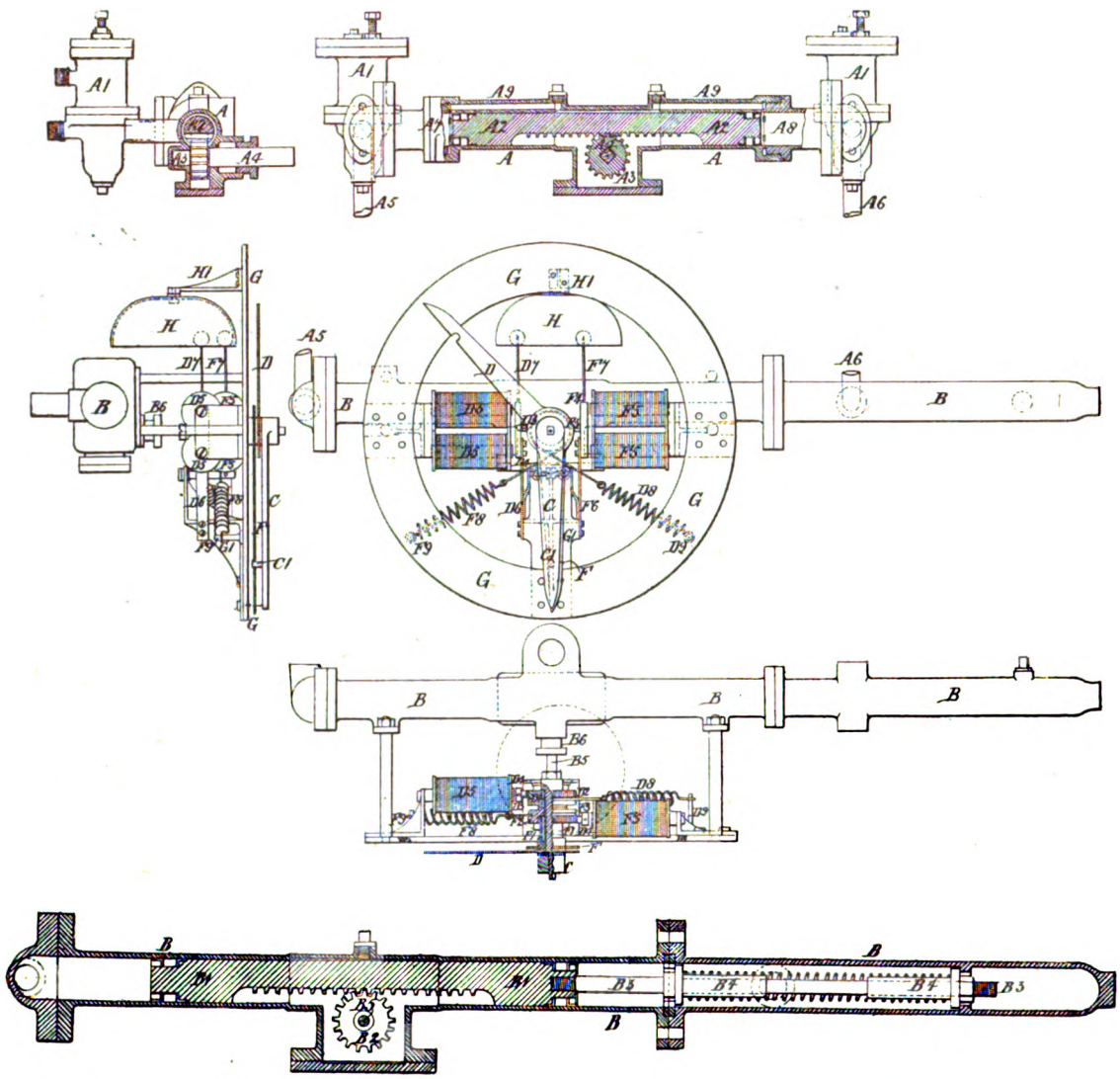


Fig. 20 à 25. — Télémoteur hydroélectrique Brown. Transmetteur, récepteur, vue par bout, plan, élévation et coupe longitudinale du cylindre hydraulique.

ou se ralentit, l'électro-aimant N ou l'électro M, attirant son armature L ou K fait basculer le levier H de façon à mettre le galet R en prise avec le plateau B ou le plateau A, sans cesse en rotation par la poulie E, de manière que R tourne tantôt dans un sens tantôt dans l'autre, et fasse par la vis de son axe Q, monter ou descendre le curseur T.

Ce curseur commande soit le distributeur

(1) *La Lumière électrique*, 27 juin 1891, p. 620, et 19 mars 1887, p. 563.

Digitized by Google

du moteur, soit un rhéostat du circuit V, soit tout autre organe de régularisation.

Parmi les applications mécaniques de l'électricité, l'une des mieux indiquées et des plus répandues est la *manœuvre des sémaphores* sur les voies de chemins de fer. Les figures 30 à 32 représentent l'un des derniers types de la maison *Siemens et Halske*, qui s'est faite, de cette application de l'électricité une véritable spécialité.

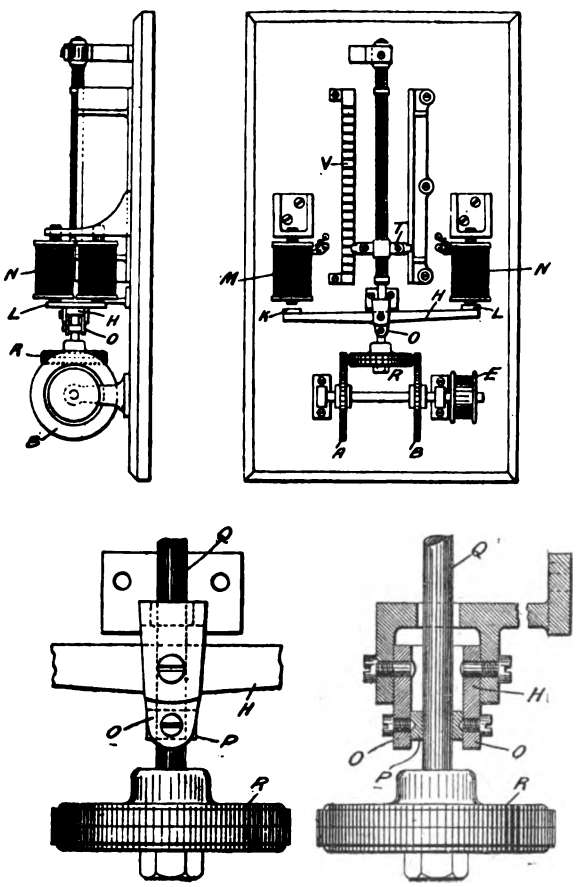


Fig. 26 à 29. — Régulateur Goolden Ravenshaw et Trotter. Vue par bout, vue de face et détail de la transmission RQ'.

Le bras du sémaphore, qui tend toujours à se placer dans la position horizontale I, ou de danger, est commandé par une dynamo *m*, à deux enroulements inducteurs permettant d'en renverser la marche, et dont la vis sans fin actionne, par le train $rt\ w_1\ w_2$, à la fois le sémaphore et le commutateur *ic bd*. A cet effet, le bras *t*, fou sur l'axe de *r*, porte un électro-aimant *x*, dont l'armature *l* l'enclanche avec *r*, quand elle est attirée, et deux contacts f_1 et f_2, à touches z_1 et z_2 qui amènent le courant à *x*. Quand le sémaphore est au danger, comme en I,

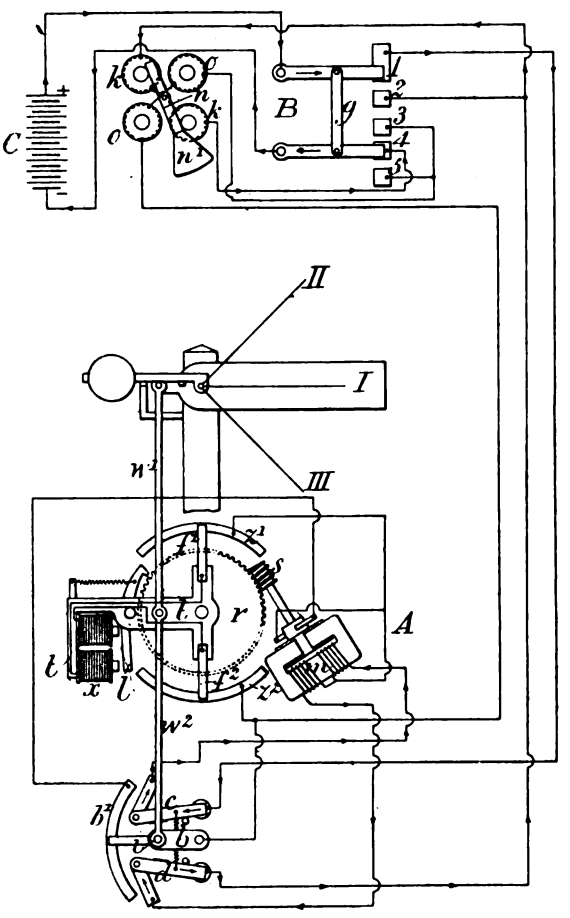


Fig. 30. — Sémaphore électrodynamique Siemens et Halske au danger.

les contacts *b c* et *d* du commutateur sont sur leurs touches; quand le sémaphore se déplace pour indiquer la voie libre en II ou en III, le bras *b* articulé à w_2 par l'axe isolé *i*, et qui suit en conséquence tous les mouvements du sémaphore, déplace soit *c*, en laissant *a* immobile, soit *d*, sans toucher à *c* : *c* et *d* se trouvant reliés à *b* par des ressorts.

La commande du sémaphore se fait, de la

Digitized by Google

cabine de l'aiguilleur, par un commutateur double Bg 1, 2, 3, 4, 5, à deux électro-aimants diagonaux *kk* et *oo*, dont l'armature indicatrice *n* n_1 se met sur *k* ou sur *o*, suivant que l'on amène *g* sur 1 et 4, ou sur 1 et 3, ou qu'il reste vertical quand il ne passe plus de courant.

Lorsque *g* est, comme sur la figure 30, en 1 et 4, le sémaphore est au danger, ainsi que *n*.

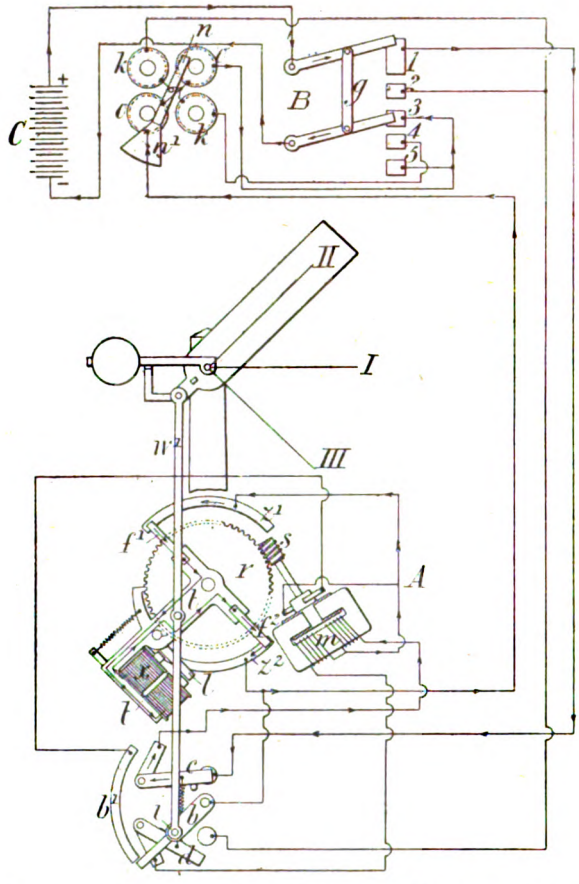


Fig. 31. — Sémaphore électrodynamique Siemens et Halske en voie libre.

Pour amener le sémaphore en II, on amène *g* sur 1 et 3 figure 31, *m* tourne alors dans le sens convenable, *x* enclanche *t* avec *r* par *l*, et *n* est attiré sur *oo*; puis *b*, repoussant par *i* et son ressort le bras *d*, le séparera de son contact, et enfin, quand le sémaphore aura atteint sa position II, *b* lui-même rompra son contact b_1, comme en figure 31, ce qui arrêtera le moteur. Le courant ne traverse plus alors *m* que par l'électro à grande résistance *x*, qui maintient *t* enclanché sur *r*.

Pour ramener le sémaphore au danger, il faut (fig. 32), ramener *g* sur 1 et 4, ce qui, coupant entièrement le circuit, laisse retomber *n* et le sémaphore rendu libre par le déclanchement de *l*.

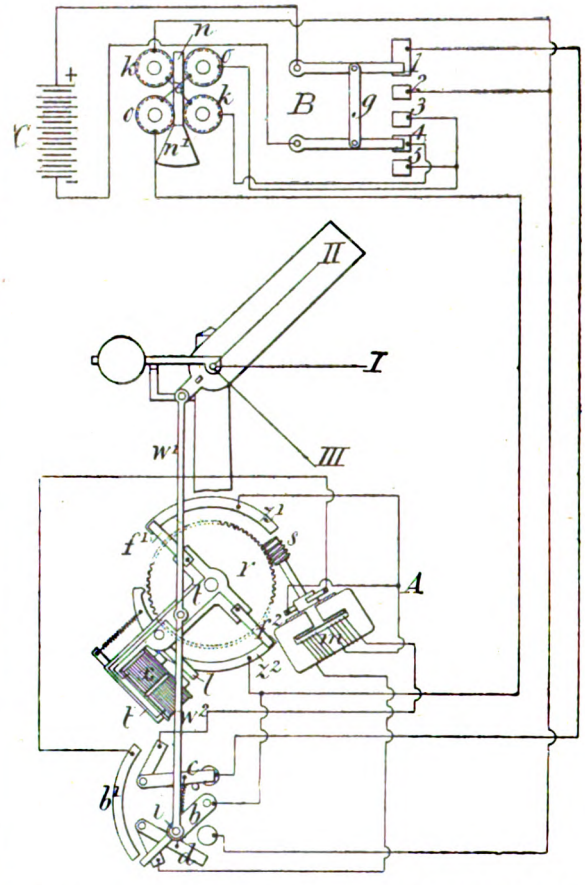


Fig. 32. — Sémaphore électrodynamique Siemens et Halske ramené au danger.

Un peu avant que le sémaphore ait repris sa position normale, *d* refait son contact, et remet dans le circuit l'électro *k*, ce qui ramène l'inducteur *n* au danger.

Le sémaphore se met de même en la position III en amenant *g* sur 2 et 5, ce qui fait tourner la dynamo en sens contraire, et fonctionner le bras *c* du commutateur comme précédemment *d*.

On comprendra facilement le fonctionnement

Digitized by Google

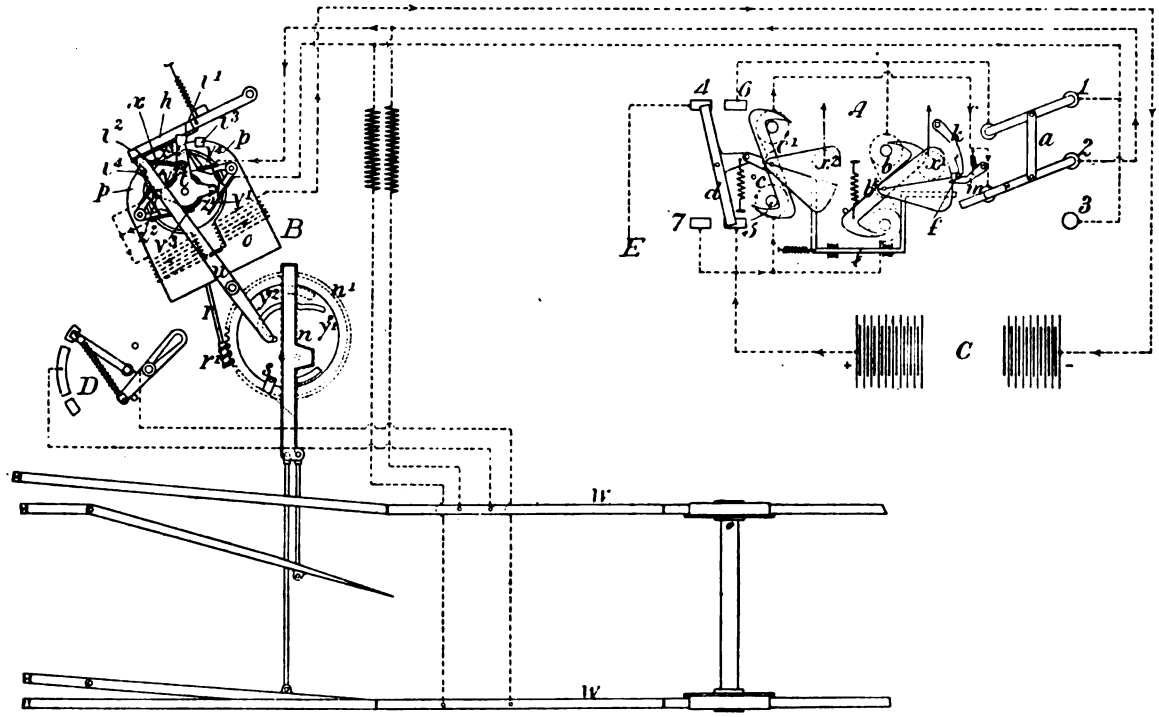


Fig. 33. — Aiguillage électrodynamique Siemens et Halske au repos, aiguille à droite.

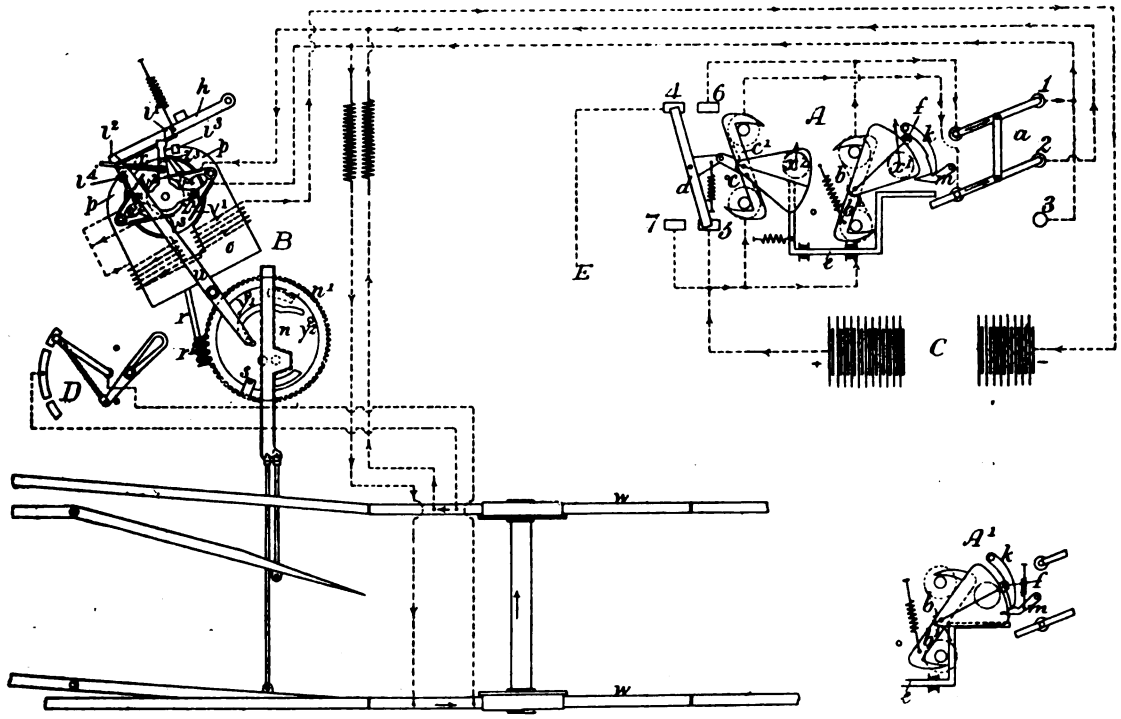


Fig. 34 et 35. — Aiguillage électrodynamique Siemens et Halske au départ, aiguille à droite.

Digitized by Google

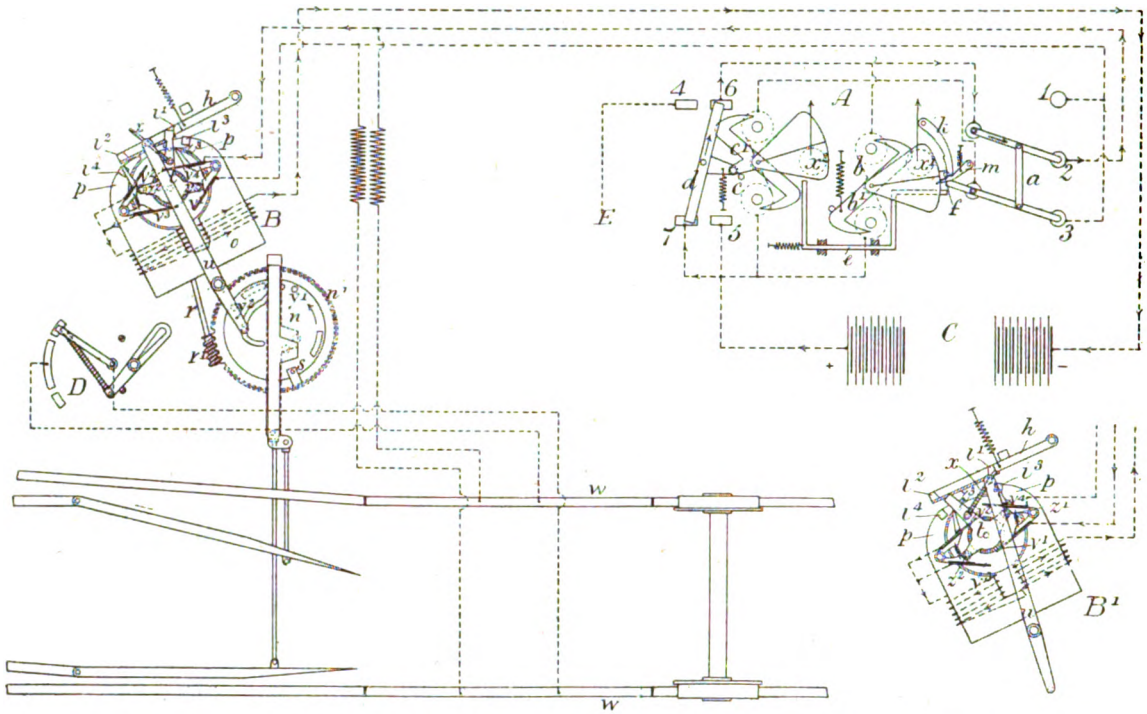


Fig. 36 et 37. — Aiguillage électrodynamique Siemens et Halske en position intermédiaire.

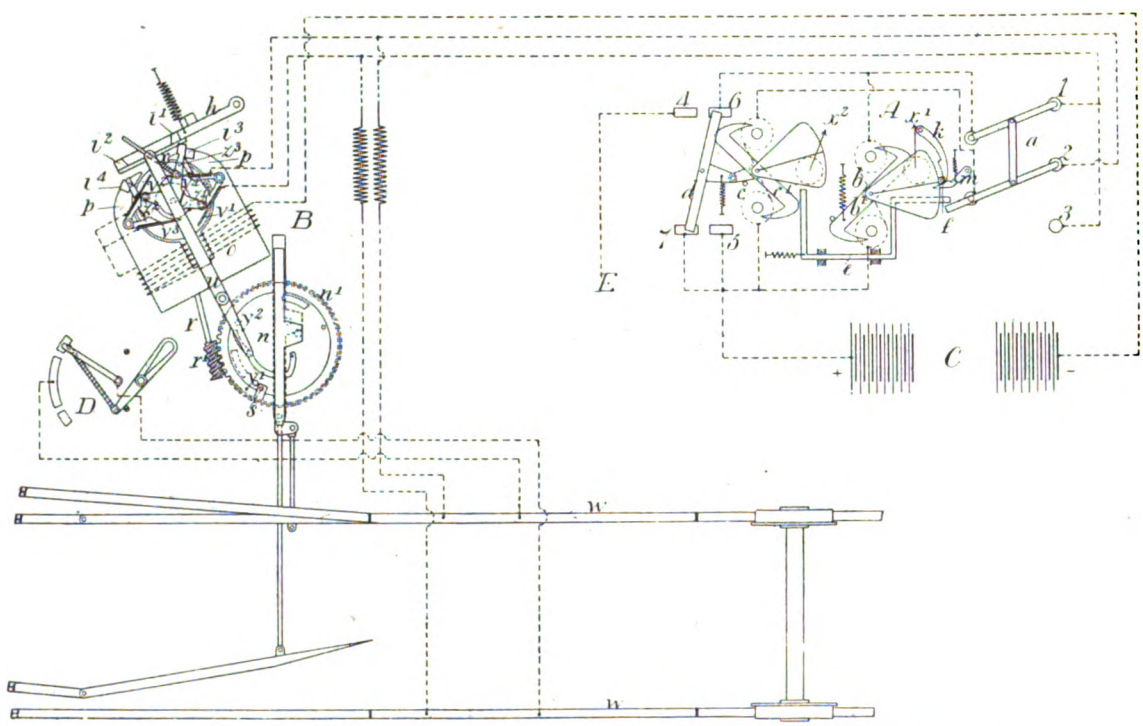


Fig. 38. — Aiguillage électro dynamique Siemens et Halske au repos, aiguille fermée.

Digitized by Google

de l'ingénieuse manœuvre d'aiguilles de ces mêmes constructeurs en en suivant le développement sur les figures shématiques 33 à 38.

Pour amener les aiguilles de la position figure 33 à celle figure 38, on amène le commutateur double *a* du poste de cabine des touches 1 et 2 sur les touches 2 et 3. Ce mouvement coupe le circuit de l'électro *c*, dont l'armature indicatrice c_1, rappelée par son ressort, fait passer le bras *d* de 4. 5 à 7. 6, ce qui coupe de 4 le circuit E du sémaphore figure 30 lequel retombe alors au danger. En même temps, ainsi que l'indiquent les flèches figure 36, le courant traverse en plein le dynamoteur R, dont l'armature commande les aiguilles par la transmission hélicoïdale 2, 3, 4, et dont les pôles *pp* attirent l'armature *h*.

La rotation du disque *n* a pour effet, par la came y_2, d'amener le levier *u* d'abord dans sa position moyenne (fig. 36) sans déranger les balais de B, dont le commutateur *t* repose sur le taquet i_1 de *h*; puis, dès qu'il dépasse sa position moyenne son ressort à bascule *x* repoussant vivement *t* de droite à gauche, comme de figure 36 à figure 37, lui fait enlever par ses galets, z_1 et z_2 les balais v_2 et v_4, immédiatement remplacés par les balais v_1 et v_3. Comme la grande résistance de l'électro *c* se trouve alors intercalée dans le circuit de *v*, le dynamomètre s'arrête, et *c*, attirant son armature c_1, ramène *d* sur 4 et 5, ce qui rétablit le circuit du sémaphore E, qui se remet à voie libre.

Lorsqu'on ramène ensuite *a* sur 1 et 2, les mêmes opérations se répètent, mais avec le moteur tournant en sens inverse, pour ramener l'aiguille à la position figure 33.

Si l'aiguille, prise en queue par un wagon, est ouverte de force, comme en figure 36, le plateau *n*, entraîné par l'aiguille, coupe le piton *s*, qui la relie au pignon hélicoïdal n_1, et amène *u* dans sa position moyenne, qu'il ne peut dépasser parce que les taquets y_1 et y_2 de *n*, butés sur celui de n_1 empêchent *n*, de dépasser dans un sens ou dans l'autre cette position; et comme alors, le courant étant rompu, *h* n'est plus attiré, le bouton z_3, du commutateur *t*, déclanché de *h* et librement entraîné par *u*, soulève le balai v_4, puis *t* vient se caler sur la butée i_3. Cette levée de v_4, rompant le circuit de l'électro *c*, lui fait remettre automatiquement le sémaphore E au danger.

Supposons enfin, que, les aiguilles étant au repos dans la position figure 33 par exemple, un train leur vienne en pointe, c'est-à-dire de droite à gauche. Dès qu'il arrive aux rails W, W, isolés de la voie et reliés par des résistances convenables aux balais v_1 et v_4, le premier essieu du train ferme comme en figure 34 le circuit W, W sur l'électro aimant *b*, qui, attirant son armature b_1 enclanche par *e* le commutateur *a* lequel se trouve ainsi immobilisé sans pouvoir déplacer l'aiguille pendant toute la durée du passage du train.

Les rails W, W sont, en outre, reliés au signal D, placé à côté de l'aiguille. Quand ce signal est actionné dans un sens ou dans l'autre, il fait en conséquence passer dans *b* un courant, mais de trop faible durée pour que son armature b_1 puisse relever le cliquet *k*, de sorte que le taquet *f* de son indicateur reste, après le passage de ce courant, enclanché, comme en figure 28 par l'encoche de K, et maintient l'indicateur de b_1 dans sa position moyenne. Cette position donne ainsi de D à la cabine l'ordre de changer l'aiguille, manœuvre qui fait passer en *b* un courant assez prolongé pour que b_1, repoussant *k*, le fasse enclancher par *m*, et laisse l'indicateur en liberté. Quand ce courant est de nouveau rompu, b_1, rappelé par son ressort frappe *m* et redéclanche *k* prêt à raccrocher *f*.

On voit que cet appareil a été étudié avec la plus grande ingéniosité dans ses moindres détails, et mérite à tous égards la description un peu longue que nous lui avons consacrée.

Gustave RICHARD

(*A suivre.*)

Digitized by Google

SUR LA FORME D'ÉQUILIBRE D'UN CONDUCTEUR FILIFORME FLEXIBLE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE (1)

II. EXEMPLE D'APPLICATION.

15. Appliquons la théorie précédente au cas *d'un champ magnétique rayonnant produit par une masse magnétique* Q *supposée concentrée en un seul point.*

Prenons ce point comme origine des coordonnées, et choisissons, arbitrairement d'abord, les directions des trois axes coordonnés rectangulaires.

Nous aurons, pour caractériser le champ, les relations

$$l = \frac{x}{r},\ m = \frac{y}{r},\ n = \frac{z}{r}, \qquad (18)$$

$$H = \frac{Q}{r^2},$$

en vertu desquelles les équations fondamentales (8) prennent la forme.

$$\frac{x''}{yz' - zy'} = \frac{y''}{zx' - xz'} = \frac{z''}{xy' - yz'} = -\frac{iQ}{Fr^3}. \qquad (19)$$

L'équation (10) donnera pour le rayon de première courbure, la valeur

$$R = -\frac{Fr^2}{iQ \sin\theta}. \qquad (20)$$

Le tube de force embrassé par le fil étant un cône, c'est-à-dire une surface développable dont les lignes de force sont des génératrices rectilignes, nous nous trouvons dans l'un des cas particuliers visés au § 12, et, par suite, la formule (15) nous donnera pour la valeur du rayon de torsion

$$T = \pm \frac{Fr^2}{iQ \cos\theta}, \qquad (21)$$

et la formule (16)

$$\frac{R}{T} = \pm \operatorname{tg}\theta$$

sera vérifiée.

(1) Voir l'*Eclairage électrique* du 13 avril; p. 62.

16. *Nature du développement de la courbe.* Le système d'équations (19) fournit la relation

$$xx'' + yy'' + zz'' = 0, \qquad (22)$$

Comme on a

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2,$$

et

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = 1,$$

On aura, en dérivant la première de ces relations

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 + xx'' + yy'' + zz'' = r'^2 + rr'',$$

ou

$$r'^2 + rr'' = 1.$$

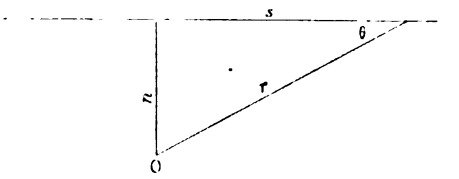


Fig.

Cette relation, intégrée une première fois, devient

$$rr' = s + m,$$

m étant une constante; nous pouvons d'ailleurs choisir l'origine des s sur la courbe de manière que $m = 0$, et alors la relation ci-dessus se réduit à

$$rr' = s,$$

qui, intégrée, donne enfin

$$r^2 = s^2 + n^2, \qquad (24)$$

n étant une constante.

Cette relation nous montre que, en développant sur un plan la surface conique du tube de force embrassé par le fil, ce dernier se présentera (fig. 1) comme *une ligne droite distante du sommet du cône d'une quantité égale à n. L'origine des arcs s sera* dans l'hypothèse de $m = 0$, la *projection orthogonale du sommet du cône sur la droite.* Nous appellerons ce point spécial : *point de symétrie* de la courbe.

17. *Relations déduites de la propriété précédente.* Comme l'angle θ est l'angle que

Digitized by Google

l'arc s fait avec le rayon r, on déduira de la figure 1 les relations suivantes qui nous seront utiles par la suite

$$\begin{aligned} r^2 &= s^2 + n^2, \\ \sin\theta &= \frac{n}{r}, \\ \cos\theta &= r' = \frac{s}{r}, \\ \operatorname{tg}\theta &= \frac{n}{s}, \end{aligned} \qquad (25)$$

et par suite, les expressions (20) et (21) deviennent

$$R = -\frac{Fr^3}{iQn}, \qquad (26)$$

et

$$T = \pm\frac{Fr^3}{iQs}, \qquad (27)$$

qui donnent ensuite, par division,

$$\frac{T}{R} = \pm\frac{n}{s} = \pm \operatorname{tg}\theta. \qquad (28)$$

18. *Discussion de ces résultats.* — La formule 26 montre que *le rayon de première courbure est proportionnel à la troisième puissance du rayon vecteur* ; ce rayon de courbure est minimum au point de symétrie de la courbe, et devient infini en même temps que le rayon vecteur. La courbure du fil sera donc d'autant plus prononcée que l'on se rapprochera davantage du point de symétrie.

Quant au rayon de torsion T, il est infini au point de symétrie ; le plan osculateur y est par conséquent stationnaire, et l'élément de courbe y est plan.

Puis, à mesure que l'on s'écarte du point de symétrie, le rayon de torsion T diminue jusqu'à devenir minimum en un point de la courbe déterminé par l'équation

$$T' = 0,$$

ou,

$$3sr^2r' - r^3 = 0,$$

et comme $rr' = s$, d'après les formules (25), on obtient

$$r = s\sqrt{3}$$

et par suite

$$T \text{ minimum} = \frac{3\sqrt{3}\,s^2F}{iQ}.$$

En ce point, on a d'ailleurs

$$r = n\sqrt{\frac{3}{2}},$$

$$s = \pm\frac{n}{\sqrt{2}},$$

de sorte que l'on peut aussi écrire,

$$T \text{ minimum} = \frac{3\sqrt{3}\,Fn^2}{2iQ}.$$

Au delà de ce minimum, T croît indéfiniment avec le rayon vecteur r.

19. *Séparation des variables dans le système d'équations* (19). — Pour déterminer complètement la forme d'équilibre du fil, il ne nous restera plus à présent qu'à rechercher la nature du cône enveloppé par le fil.

Pour cela, nous allons séparer les variables x, y, z dans le système d'équations (19).

Comme le rayon vecteur r présente avec l'arc de courbe s, variable indépendante, des relations très étroites indiquées par l'équation (24), nous le laisserons subsister dans chacune des équations finales.

On déduit d'abord du système (19)

$$\begin{aligned} x'' &= -(yz' - zy')\frac{Qi}{Fr^3}, \\ y'' &= -(zx' - xz')\frac{iQ}{Fr^3}, \\ z'' &= -(xy' - yx')\frac{iQ}{Fr^3}. \end{aligned} \qquad (29)$$

Dérivons la première de ces équations, nous obtenons :

$$x''' = \frac{iQ}{Fr^3}(zy''' - yz''') + (yz' - zy')\frac{3iQr'}{Fr^4}. \qquad (30)$$

Les deux dernières équations (29) nous donnent respectivement les relations :

$$zy''' = -\frac{iQ}{Fr^3}(z^2x' - xzz'),$$

$$yz''' = -\frac{iQ}{Fr^3}(xyz' - y^2x'),$$

d'où, en les retranchant l'une de l'autre,

$$zy''' - yz''' = \frac{iQ}{Fr^3}(xyy' + xzz' - y^2x' - z^2x'),$$

Digitized by Google

ou, d'après les formules (23)

$$\zeta y'' - y\zeta'' = \frac{iQ}{Fr^3}(xr' - x'r).$$

Substituons dans l'équation (30) cette dernière valeur, ainsi que

$$y\zeta' - \zeta y' = -\frac{Fr^2}{iQ}x'',$$

déduite de la première relation (29), nous obtiendrons :

$$x''' = \frac{i^2Q^2}{F^2r^5}(xr' - x'r) - 3\frac{r'}{r}x''.$$

Introduisons

$$\frac{r'}{r} = \frac{s}{r^2}$$

d'après le système (25), et remarquons que nous aurions pu appliquer le même procédé de réduction à chacune des deux dernières équations du système (29) ; nous sommes amenés de la sorte au nouveau système dans lequel les variables x, y, ζ sont séparées :

$$\begin{aligned} x''' + 3\frac{s}{r^2}x'' + \frac{i^2Q^2}{F^2r^4}x' - \frac{i^2Q^2s}{Fr^6}x = 0, \\ y''' + 3\frac{r^2}{s}y'' + \frac{i^2Q^2}{F^2r^4}y' - \frac{i^2Q^2s}{Fr^6}y = 0, \\ \zeta''' + 3\frac{s}{r^2}\zeta'' + \frac{i^2Q^2}{F^2r^4}\zeta' - \frac{i^2Q^2s}{Fr^6}\zeta = 0. \end{aligned} \qquad (31)$$

Si l'on voulait en faire disparaître la quantité r^2, il suffirait de la remplacer par sa valeur $(s^2 + n^2)$.

20. *Intégration de ces équations.* — On s'aperçoit immédiatement qu'une première intégrale particulière du système 31 est donnée par les équations

$$\begin{aligned} x &= ar, \\ y &= br, \\ \zeta &= cr, \end{aligned} \qquad (32)$$

dans lesquelles a, b, c, sont des quantités constantes.

Et, en effet, on déduit par exemple de la première équation (32)

$$x' = ar', \quad x'' = ar'', \quad x''' = ar''',$$

et comme

$$r = \sqrt{s^2 + n^2},$$

il vient successivement

$$\begin{aligned} r' &= \frac{s}{r}, \\ r'' &= -\frac{r's - r}{r^3} = \frac{n^2}{r^3}, \\ r''' &= -\frac{3n^2r'}{r^4} = -\frac{3n^2s}{r^5}, \end{aligned}$$

et par suite

$$\begin{aligned} x &= ar, \\ x' &= \frac{as}{r}, \\ x'' &= \frac{an^2}{r^3}, \\ x''' &= -\frac{3an^2s}{r^5}. \end{aligned}$$

Ces valeurs, substituées dans la première des équations (31) conduisent à une identité, indépendamment de la valeur de a.

Connaissant ainsi une intégrale particulière de l'une quelconque des relations (31), nous pourrons abaisser d'une unité l'ordre de cette équation, en posant.

$$x = ar, \qquad (32\ bis)$$

et considérant a comme une nouvelle variable, nous obtenons successivement :

$$\begin{aligned} x' &= a'r + ar', \\ x'' &= a''r + 2a'r' + ar'', \\ x''' &= a'''r + 3a''r' + 3a'r'' + ar'''. \end{aligned}$$

En substituant ces valeurs dans la première des équations (31), et en tenant compte des valeurs trouvées ci-dessus pour les dérivées successives de r, nous obtiendrons la nouvelle équation :

$$a'''r + 3a''\frac{s}{r} + \frac{3a'n^2}{r^3} + 3\frac{s}{r^2}\left(a''r + \frac{2a's}{r}\right) + \frac{i^2Q^2}{F^2r^4}a'r = 0,$$

ou

$$ra''' + 6\frac{s}{r}a'' + \frac{3n^2 + 6s^2 + \frac{i^2Q^2}{F^2}}{r^2}a' = 0,$$

et, en posant,

$$a' = u, \qquad (33)$$

nous arrivons à une équation également linéaire, mais du second ordre seulement :

$$u'' + 6\frac{s}{r^2}u' + \frac{3n^2 + 6s^2 + \frac{i^2Q^2}{F^2}}{r^4}u = 0 \qquad (34)$$

Digitized by Google

Posons ensuite :

$$u = Pe^{\int_0^s \nu ds}, \qquad (35)$$

P étant une constante et v une nouvelle variable, on aura :

$$u' = u\nu,$$
$$u'' = u'\nu + u\nu' = u\nu^2 + u\nu'.$$

Ces valeurs, substituées dans l'équation (34) conduisent à l'équation du premier ordre :

$$\nu' + \nu^2 + \frac{6s}{r^2}\nu + \frac{3n^2 + 6s^2 + \frac{i^2Q^2}{F^2}}{r^4} = 0. \qquad (36)$$

Essayons la valeur :

$$\nu = \frac{As + B}{r^2},$$

dans laquelle A et B représentent des quantités constantes.

On en déduit :

$$\nu' = \frac{An^2 - As^2 - 2Bs}{r^4},$$

en se rappelant que :

$$r^2 = s^2 + n^2.$$

Ces valeurs, substituées dans l'équation (36) conduisent à des relations qui détermineront A et B. Ces relations sont :

$$An^2 + B^2 + 3n^2 + \frac{i^2Q^2}{F^2} = 0,$$
$$-A + A^2 + 6A + 6 = 0.$$
$$-2B + 2AB + 6B = 0.$$

La deuxième relation donne :

$$A = -2 \text{ ou } -3.$$

La troisième donne :

$$A = -2$$

Puis la première donne, en y substituant cette valeur de A :

$$B = \pm\sqrt{n^2 + \frac{i^2Q^2}{F^2}}\sqrt{-1},$$

L'équation (36) admet par conséquent les deux solutions :

$$\nu = \frac{-2s \pm \sqrt{n^2 + \frac{i^2Q^2}{F^2}}\sqrt{-1}}{n^2 + s^2}.$$

On aura ensuite :

$$\int_0^s \nu ds = -\int_0^s \frac{2sds}{s^2 + n^2} \pm \sqrt{n^2 + \frac{i^2Q^2}{F^2}}\sqrt{-1}\int_o^s \frac{as}{n^2 + s^2}$$
$$= \left[-\log \text{nép}\,(n^2 + s^2) \pm \sqrt{n^2 + \frac{i^2Q^2}{F^2}}\sqrt{-1}\,\frac{1}{n}\,\text{arctg}\,\frac{s}{n}\right]_0^s$$
$$= -\log \text{nép}\,(n^2 + s^2) \pm \sqrt{1 + \frac{i^2Q^2}{F^2n^2}}\sqrt{-1}\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + \text{Cte}$$

La relation (35) donnera donc pour u deux valeurs particulières :

$$u = \frac{P}{r^2}\, e^{\pm\sqrt{1 + \frac{i^2Q^2}{F^2n^2}}\sqrt{-1}\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)},$$

ou, en posant

$$K = \sqrt{1 + \frac{i^2Q^2}{F^2n^2}},$$

$$u_1 = \frac{P_1}{r^2}\, e^{K\sqrt{-1}\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)},$$

$$u_2 = \frac{P}{r^2}\, e^{-K\sqrt{-1}\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)}$$

ce qui conduit pour u à la valeur réelle :

$$r^2u = E\cos K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + G\sin K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right),$$

E et G étant deux constantes arbitraires.

Comme on a :

$$a' = u,$$

il viendra :

$$a = \int \frac{E\cos K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + G\sin K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)}{r^2}\, ds + J,$$

équation dans laquelle J est aussi une constante arbitraire.

Mais on a, d'après les égalités (25) :

$$\frac{ds}{r^2} = \frac{ds}{n^2 + s^2} = \frac{1}{n}\, d\,\text{arc tang}\,\frac{s}{n} = \frac{1}{n}\, d\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)$$

et comme pour $s = 0$, on a :

$$\theta = \frac{\pi}{2},$$

il viendra :

$$a = E_1 \sin K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + G_1 \cos K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + J_1,$$

Digitized by Google

E_1, G_1, et J_1 étant de nouvelles constantes.

D'après l'équation (32 *bis*) le système intégral général du système (31) sera par conséquent :

$$x = r\left[E_1 \sin K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + G_1 \cos K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + J_1\right],$$
$$y = r\left[E_2 \sin K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + G_2 \cos K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + J_2\right], \quad (37)$$
$$z = r\left[E_3 \sin K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + G_3 \cos K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + J_3\right],$$

les symboles E, G, J représentant des quantités constantes :

21. *Choix des directions des axes coordonnés.* — Il importe de remarquer que les quantités E,G,J du système intégrale générale ne sont pas toutes arbitraires.

Elles doivent en effet satisfaire à l'identité :

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2,$$

c'est-à-dire que la relation :

$$\left[E_1 \sin K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + G_1 \cos K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + J_1\right]^2 + \text{etc} = 1$$

doit être identiquement vérifiée, quelle que soit la valeur de θ ou de $K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)$

En développant cette relation et identifiant, on obtient :

$$G_1^2 + G_2^2 + G_3^2 + J_1^2 + J_2^2 + J_3^2 = 1,$$
$$E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 - G_1^2 - G_2^2 - G_3^2 = 0,$$
$$E_1G_1 + E_2G_2 + E_3G_3 = 0$$
$$E_1J_1 + E_2J_2 + E_3J_3 = 0.$$
$$G_1J_1 + G_2J_2 + G_3J_3 = 0.$$

Posons :

$$E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 = V^2,$$

nous pourrons écrire :

$$E_1 = V\cos\alpha; \quad G_1 = V\cos\xi; \quad J_1 = \sqrt{1 - V^2}\cos\lambda;$$
$$E_2 = V\cos\beta; \quad G_2 = V\cos\eta; \quad J_2 = \sqrt{1 - V^2}\cos\mu;$$
$$E_3 = V\cos\gamma; \quad G_3 = V\cos\zeta; \quad J_3 = \sqrt{1 - V^2}\cos\nu;$$

et les trois dernières relations ci-dessus deviennent :

$$\cos\alpha\cos\xi + \cos\beta\cos\eta + \cos\gamma\cos\zeta = 0,$$
$$\cos\alpha\cos\lambda + \cos\beta\cos\mu + \cos\gamma\cos\nu = 0,$$
$$\cos\xi\cos\lambda + \cos\eta\cos\mu + \cos\zeta\cos\nu = 0,$$

ce qui nous montre que les trois directions caractérisées par les angles directeurs (α, β, γ); (ξ, η, ζ); (λ, μ, ν) sont perpendiculaires deux à deux.

Nous pourrons dès lors considérablement simplifier le système d'équations (37) en choisissant ces trois directions pour celles des axes coordonnés.

Dans ces nouveaux axes, on aura en effet :

$$E_1 = V; \quad G_1 = 0; \quad J_1 = 0;$$
$$E_2 = 0; \quad G_2 = V; \quad J_2 = 0;$$
$$E_3 = 0; \quad G_3 = 0; \quad J_3 = \sqrt{1 - V^2};$$

et le système intégrale générale (37) devient :

$$x = rV \sin K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right),$$
$$y = rV \cos K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right), \quad (38)$$
$$z = r\sqrt{1 - V^2}.$$

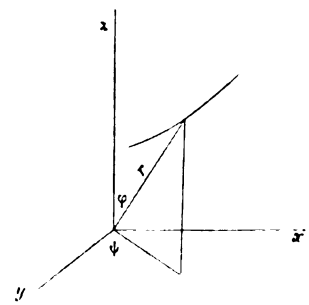


Fig. 2.

Désignons (fig. 2) dans ces nouveaux axes coordonnés, par φ l'angle du rayon vecteur r et de l'axe des z, et par ψ l'angle de la projection de r sur le plan des xy avec l'axe des y, on aura, d'après le système (38) :

$$V = \pm \sin\varphi,$$
$$K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \psi.$$

22. Nous sommes donc amenés à exprimer les équations de la courbe d'équilibre sous la forme simple suivante :

$$\psi = K\left(\frac{\pi}{2} - o\right).$$
$$r^2 = s + n^2, \quad (39)$$
$$\theta = \text{arc sin}\,\frac{n}{r}.$$

Digitized by Google

A des valeurs égales et de signes contraires de $\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)$ correspondront des valeurs égales et de signes contraires de ψ. Le plan des $y\zeta$ est donc un *plan de symétrie* de la courbe. D'ailleurs, le point de symétrie défini au § 16, et qui correspond à la valeur $\theta = \frac{\pi}{2}$, se trouvera dans ce plan de symétrie.

23. *Détermination de l'angle* φ. — Ainsi que nous l'avons dit, V est une quantité constante, et par suite aussi l'angle φ sera constant. Le vecteur r de la courbe décrira donc autour de l'axe des ζ un cône à section droite circulaire.

Nous pourrons déterminer très aisément la valeur de l'angle générateur φ.

Dérivons en effet les équations (38), nous obtiendrons :

$$x' = Vr' \sin K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + Vr K\theta' \cos K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right),$$
$$r' = Vr' \cos K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + Vr K\theta' \sin K\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right),$$
$$\zeta' = r'\sqrt{1 - V^2},$$

Carrons ces équations et ajoutons-les membre à membre ; comme :

$$x'^2 + y'^2 + \zeta'^2 = 1,$$

nous aurons.

$$V^2 r^2 K^2 \theta'^2 + r'^2 = 1.$$

Mais

$$\theta' = -\frac{n}{r^2}; \qquad r' = \frac{s}{r}.$$

Il vient alors :

$$V^2 K^2 = 1,$$

ou

$$\varphi = \pm \text{ arc sin } \frac{1}{K}. \qquad (40)$$

Comme, d'après l'équation (37), K n'est jamais inférieur à l'unité, la valeur de φ sera toujours réelle.

On voit donc que *la courbe est tracée sur un cône à section droite circulaire, et qu'elle est représentée en développement par une ligne droite.*

24. *Calcul des divers éléments de la courbe en fonction des données du problème.* — Nous supposerons que l'on se donne dans l'espace les deux points d'attache 1 et 2, par leurs rayons vecteurs r_1 et r_2 en grandeur et en direction ; l'angle ω de ces deux rayons, et la longueur S de l'arc de courbe intermédiaire.

Nous calculerons d'abord la grandeur n, distance de l'origine à la droite développement de la courbe, ou encore distance de l'origine au point de symétrie de la courbe.

Puis nous calculerons la valeur de k, et partant de l'angle φ, qui déterminera complètement la position de l'axe des ζ, car celui-ci ne sera autre chose que la droite du plan bissecteur de l'angle ω, passant par l'origine, et faisant avec chacun des rayons vecteurs r_1 et r_2 un angle égal à φ.

Puis, nous rechercherons la valeur des angles θ_1 et θ_2, et nous aurons immédiatement

$$\psi_1 = K\left(\frac{\pi}{2} - \theta_1\right)$$

qui déterminera l'angle du plan axial passant par le vecteur r_1 avec le plan de symétrie.

Nous pourrons alors déterminer dans ce plan la position du point de symétrie ; en traçant ensuite le cône, et la droite développement dans un plan, il suffira d'enrouler ce plan sur le cône de façon que la projection orthogonale de l'origine sur la droite vienne se placer au point de symétrie.

25. *Calcul de* n. — Si s_1 et s_2 représentent les coordonnées curvilignes des deux points donnés, on a, par hypothèse

$$s_2 - s_1 = S.$$

Mais, d'après l'équation (24)

$$s_2 = \pm\sqrt{r_2^2 - n^2},$$
$$s_1 = \pm\sqrt{r_1^2 - n^2}.$$

En retranchant membre à membre ces deux égalités, on obtient l'équation en n

$$S = \pm\sqrt{r_2^2 - n^2} \pm \sqrt{r_1^2 - n^2}$$

Digitized by Google

de laquelle on déduit sans difficulté la valeur de n

$$n = \frac{\sqrt{[(r_2+r_1)^2 - S^2]\,[S^2 - (r_2 - r_1)^2]}}{2S}. \qquad (41)$$

Nous discuterons tout à l'heure les différentes équations auxquelles nous serons amenés.

26. *Calcul de* K. — Si nous posons

$$\frac{\pi}{2} - \theta = \delta,$$

les équations (38) donnent pour le carré de la distance des deux points donnés la valeur

$$(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 = V^2 [r_2 \sin K\delta_2 - r_1 \sin K\delta_1]^2 + V^2 (r_2 \cos K\delta_2 - r_1 \cos K\delta_1)^2 + (1 - V^2)(r_2 - r_1)^2$$

Mais le carré de cette distance est aussi égal à

$$r_2^2 + r_1^2 - 2r_1 r_2 \cos \omega.$$

En égalant ces deux expressions, on obtient

$$V^2 [1 - \cos K(\delta_2 - \delta_1)] = 1 - \cos \omega,$$

ou

$$\frac{\sin \frac{K}{2}(\theta_2 - \theta_1)}{K} = \pm \sin \frac{\omega}{2}.$$

D'ailleurs θ_2 et θ_1 sont connus, car, en vertu de (39), on a :

$$\theta_1 = \text{arc sin } \frac{n}{r_1},$$

$$\theta_2 = \text{arc sin } \frac{n}{r_2}.$$

L'équation ci-dessus peut s'écrire aussi

$$\frac{\sin \frac{K}{2}(\theta_2 - \theta_1)}{\frac{K}{2}(\theta_2 - \theta_1)} \pm = \frac{2 \sin \frac{\omega}{2}}{\theta_2 - \theta_1}, \qquad (42)$$

ce qui revient à

$$\frac{\sin u}{u} = a,$$

a étant une quantité donnée. On trouvera pour k diverses valeurs dont une seule correspondra à la forme d'équilibre stable, ainsi qu'on le démontrera plus loin.

On aura ensuite :

$$\psi_1 = K\left(\frac{\pi}{2} - \theta_1\right). \qquad (43)$$

27. *Détermination de la tension longitudinale* F *du fil.* — L'équation (37), résolue par rapport à F, donne enfin

$$F = \frac{iQ}{n\sqrt{K^2 - 1}} \qquad (44)$$

ce qui fournit la dernière inconnue du problème.

28. *Résumé et discussion des résultats.* — Nous sommes arrivés aux diverses équations suivantes :

$$n = \frac{\sqrt{[(r_2 + r_1)^2 - S^2]\,[S^2 - (r_2 - r_1)^2]}}{2S}, \qquad (A)$$

$$\theta_2 = \text{arc sin } \frac{n}{r_2}, \qquad \theta_1 = \text{arc sin } \frac{n}{r_1}, \qquad (B)$$

$$\frac{\sin u}{u} = a\,;\ u = \frac{K}{2}(\theta_2 - \theta_1)\,;\ a = \pm \frac{2 \sin \frac{\omega}{2}}{\theta_2 - \theta_1} \qquad (C)$$

$$\psi_1 = K\left(\frac{\pi}{2} - \theta_1\right), \qquad (D)$$

$$F = \frac{iQ}{n\sqrt{K^2 - 1}}. \qquad (E)$$

Pour que n soit réel, il faut que l'on ait

$$r_2 + r_1 \leqslant S \leqslant r_2 - r_1,$$

en supposant, ce que nous pouvons toujours faire, que r_1 ne soit pas plus grand que r_2.

1° Dans le cas où l'on a l'une ou l'autre des valeurs de S

$$S = r_2 + r_1 \quad \text{ou} \quad S = r_2 - r_1,$$

n devient nul. La courbe passe donc par l'origine des coordonnées ; dans le premier cas, l'origine se trouve entre les deux points ; dans le second cas, l'origine est extérieure.

Si l'origine est intérieure, comme l'intensité du champ y est infinie, la tension du fil devra l'être également. On aura, en effet, dans ce cas particulier

$$\theta_2 = -\pi, \quad \theta_1 = 0, \quad \theta_2 - \theta_1 = -\pi,$$

et par suite, dans l'équation (C) on aura

$$\frac{\sin K\pi}{\pi} = 0,$$

ce qui donne pour K la valeur 1.

Digitized by Google

Dès lors, l'équation (E) donne pour F une valeur infinie.

Si l'origine est extérieure,

$$\theta_2 = 0, \quad \theta_1 = 0.$$

L'équation (C) donne pour K une valeur indéterminée; et par suite F lui-même sera indéterminé dans l'équation (E).

2° On verra de suite, une fois n trouvé, quelle est la situation du point de symétrie par rapport aux points donnés, et l'indétermination des valeurs de θ fournies par les équations B cessera aussitôt.

3° L'équation C fournira pour K toute une série de valeurs. Cette multiplicité de solutions s'explique aisément, si l'on remarque qu'une longueur donnée de fil peut s'enrouler entre deux points de plusieurs façons différentes, selon le nombre de spires intermédiaires qui se formeront entre ces deux points. Mais parmi ces valeurs diverses, il en est une qui correspond à la forme d'équilibre stable, ainsi que nous allons le faire voir.

La surface coupée sur la sphère de rayon unité par le cône d'angle générateur φ est égale à

$$2\pi (1 - \cos \varphi)$$

et le flux de force magnétique compris dans le cône sera

$$2\pi Q (1 - \cos \varphi).$$

Une ligne tracée sur le cône, et faisant un circuit complet en projection horizontale autour de l'origine, embrassera une fois ce flux. Une partie de cette ligne, comprise entre deux plans axiaux faisant avec l'axe des y des angles respectivement égaux à ψ_2 et ψ_1 embrassera donc un flux

$$Q (\psi_2 - \psi_1) (1 - \cos \varphi),$$

ou, d'après la relation (D)

$$QK (\theta_1 - \theta_2) (1 - \cos \varphi),$$

ou encore, d'après la relation (40).

$$Q (\theta_1 - \theta_2) \frac{1 - \cos \varphi}{\sin \varphi} = Q (\theta_1 - \theta_2) \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}.$$

Le potentiel du courant i traversant le conducteur, par rapport au champ, sera, par conséquent, égal à

$$- Qi (\theta_1 - \theta_2) \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$$

et comme le facteur $Qi (\theta_1 - \theta_2)$ est indépendant de la valeur de φ, on voit que l'énergie potentielle sera d'autant plus faible que l'angle φ sera plus grand; c'est-à-dire que la forme d'équilibre stable correspondra à la plus petite des valeurs de K, parmi celles de ces valeurs qui ne seront pas inférieures à l'unité G.

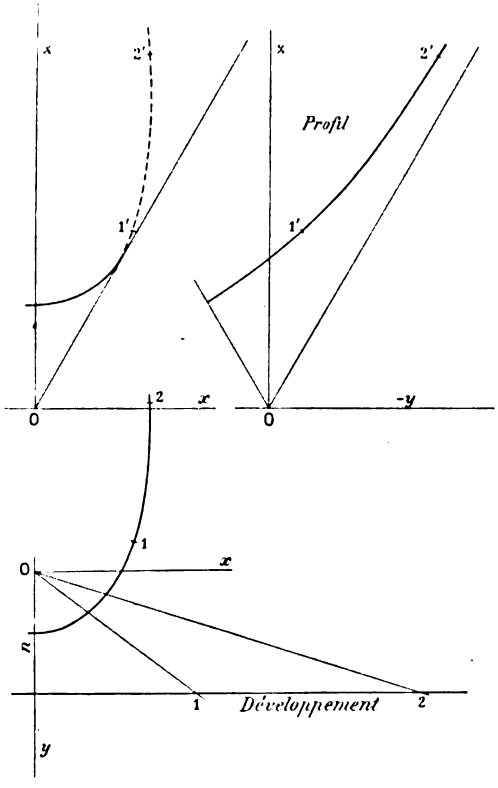


Fig. 3.

29. Soumettons les résultats précédents à l'épreuve d'un *calcul numérique.*

Donnons-nous par exemple

$$r_1 = 5; \; r_2 = 10; \; \omega = 16°; \; S = 5{,}55.$$

On trouve successivement

$$n = 3; \quad \theta_1 = 37°; \quad \theta_2 = 18°; \quad K = 2; \quad \varphi = 30°;$$
$$F = 5{,}2; \quad \psi_1 = 142°; \quad \psi_2 = 106°.$$

On pourra alors construire la courbe par

Digitized by Google

les procédés descriptifs ordinaires, en s'aidant, par exemple, d'une ligne auxiliaire qui peut être avantageusement la circonférence d'une section droite du cône (voir fig. 3).

30. *Cas d'un champ magnétique uniforme.* — Ce cas revient à celui qui précède, si nous supposons que le centre d'action magnétique soit rejeté à l'infini. Mais pour que la force magnétique dans la portion de l'espace considérée ne soit pas nulle, il faudra que la masse magnétique agissante soit elle-même un infiniment grand du second ordre, le vecteur r étant pris comme infiniment grand principal.

Nous ferons donc

$$\frac{Q}{r_2} = H, \tag{45}$$

quelle que soit la valeur de r, H étant une quantité constante.

Nous supposerons que

$$r_2 = \infty$$
$$r_1 = \infty$$

Mais que la différence de ces vecteurs est une quantité déterminée h :

$$r_2 - r_1 = h; \tag{46}$$

cette quantité h n'étant autre que la projection de la distance des deux points d'attache du fil conducteur, sur la direction du champ magnétique.

La formule (A) du paragraphe 28 donne alors

$$\frac{n}{r} = \frac{\sqrt{S^2 - h^2}}{S},$$

et comme

$$\frac{n}{r} = \sin\theta, \tag{47}$$

il vient

$$\sin\theta = C^{te} = \frac{\sqrt{S^2 - h^2}}{S}, \tag{48}$$

La courbe est donc une hélice tracée sur un cylindre, d'après ce que nous avons dit au paragraphe 13.

31. Le cône tube de force embrassé par le conducteur devient ici un cylindre à section circulaire, dont l'axe est l'axe des z.

Désignons par c le rayon de la section droite du cylindre, et par p la projection sur le plan des xy de la distance des deux points d'attache. Soit aussi σ la longueur de l'arc d'hélice S projetée sur le même plan nous aurons

$$2\sin\frac{\omega}{2} = \omega = \frac{p}{r} \tag{49}$$

et, en considérant le développement du cylindre,

$$\theta_2 - \theta_1 = \frac{\sigma}{r}. \tag{50}$$

Nous pourrons maintenant interpréter les relations (C) du paragraphe 28 ; on aura en effet

$$a = \frac{\omega}{\theta_2 - \theta_1} = \frac{p}{\sigma},$$

et comme on sait aussi que

$$c = r\sin\varphi = \frac{r}{K},$$

on aura

$$u = \frac{K}{2}(\theta_2 - \theta_1) = \frac{\sigma}{2c},$$

et, par suite, la relation

$$\frac{\sin u}{u} = a$$

devient simplement

$$\sin\frac{\sigma}{2c} = \frac{p}{2c}, \tag{51}$$

d'où l'on déduira la valeur de c, puisque σ est donné par la relation

$$\sigma = S\sin\theta = \sqrt{S^2 - h^2}. \tag{52}$$

Remarquons d'ailleurs que la relation (51) pouvait être obtenue immédiatement par des considérations géométriques.

32. L'angle ψ sera donné par la relation (D) du paragraphe 28 qui devient ici

$$\psi = \infty$$

La direction de l'axe des y est donc absolument indéterminée.

Enfin, la relation (E) donnera pour la valeur

Digitized by Google

de la tension mécanique longitudinale du fil conducteur, la valeur

$$F = \frac{iQ}{n\sqrt{K^2 - 1}} = \frac{iQc}{\sin\theta . r\sqrt{r^2 - c^2}} = \frac{iHc}{\sin\theta}. \qquad (53)$$

33. *Remarque.* — L'équation (51) conduit à plusieurs valeurs du rayon c; mais par suite des conclusions du paragraphe 29, il faudra choisir la plus grande de ces valeurs, qui correspondra à la forme d'équilibre stable ou de potentiel minimum. Le conducteur ne décrira, dès lors, pas plus d'une spire entre les deux points d'attache.

34. En résumé, la marche à suivre sera la suivante :

Connaissant la distance h des deux points suivant la direction du champ, et leur distance p perpendiculairement à ce champ, ainsi que la longueur s du fil conducteur intermédiaire, on aura par l'équation (48)

$$\sin\theta = \frac{\sqrt{S^2 - h^2}}{S}; \qquad (F)$$

par l'équation (52)

$$\sigma = \sqrt{S^2 - h^2}; \qquad (G)$$

par l'équation (51)

$$\sin\frac{\sigma}{2c} = \frac{p}{2c}; \qquad (H)$$

et enfin par l'équation (53)

$$F = \frac{iHc}{\sin\theta}, \qquad (I)$$

ce qui résoudra complètement le problème.

35. *Résolution de la question en partant des équations générales.* — Evidemment, on aurait pu prendre comme point de départ les équations générales d'équilibre (8) obtenues au § 6.

On aurait, en effet, dans le cas qui nous occupe, en supposant le champ parallèle à l'axe des z

$$H = C^{te};$$

$$l = 0 \quad ; m = 0 \quad ; n = 1$$

et les équations (8) deviennent

$$\frac{x''}{-y'} = \frac{y''}{x'} = \frac{z''}{0} = -\frac{iH}{F}, \qquad (54)$$

d'où l'on déduit d'abord

$$z'' = 0,$$

ou

$$z' = C^{te},$$

c'est-à-dire

$$\frac{dz}{ds} = \cos\theta = C^{te}, \qquad (55)$$

ce qui montre que la courbe est une hélice tracée sur un cylindre dont les génératrices sont parallèles à la direction du champ.

L'équation (10) donne ensuite pour le rayon de première courbure

$$R = -\frac{F}{iH\sin\theta} = C^{te} \qquad (56)$$

ce qui montre que le cylindre est à section circulaire.

Comme, pour une hélice tracée sur un cylindre à section circulaire de rayon c, l'on a

$$R = \frac{c}{\sin^2\theta}.$$

on obtient, en combinant cette dernière équation avec l'équation (56),

$$F = \frac{iHc}{\sin\theta}.$$

Quant au rayon c, ce sera le rayon d'une circonférence dans laquelle une corde de longueur p sous-tend un arc de longueur σ; cette définition conduit à l'équation (51), qui servira à déterminer c.

36. Soumettons encore les résultats que nous venons de trouver, à l'épreuve d'un *calcul numérique.*

Soit par exemple

$$h = 3 \quad ; p = 3{,}9 \quad ; S = 5.$$

La relation (F) du § 34 donne

$$\theta = 53°,$$

La relation (H) donne ensuite

$$c = 6,$$

et la relation (I),

$$F = 7{,}5\ Hi.$$

Digitized by Google

La courbe se construit alors sans aucune difficulté.

(*A suivre.*)

OSC. COLARD,
Ingénieur au service technique des Télégraphes de Belgique.

LE COMPTEUR D'ÉLECTRICITÉ GRASSOT POUR COURANTS CONTINUS

A l'exposition annuelle de la Société française de physique du mardi 16 et du mercredi 17 avril se trouvait, parmi les différents appareils exposés par la maison Ducretet, un compteur d'électricité qui mérite d'être signalé.

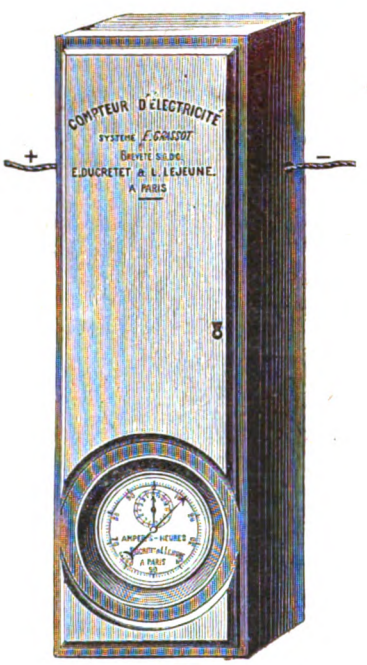


Fig. 1. — Compteur Grassot.

Ce compteur, que représentent les figures 1 et 2, se compose d'un fil d'argent *f* portant à sa partie supérieure une petite masse pesante *p* et reposant par sa partie inférieure sur une plaque de verre *a* légèrement noyée dans une solution d'azotate d'argent. Le courant à mesurer arrive en J et sort en J'; entre ces deux points se trouvent, disposés en dérivation, une faible résistance R et un circuit contenant une grande résistance *r*. Le courant de cette dernière dérivation arrive en *m* à un ressort S s'appuyant sur le fil *f*, suit la partie inférieure de ce fil, passe dans la solution d'azotate d'argent et sort de cette solution par l'électrode *e*.

Par suite du passage du courant la partie inférieure du fil se dissout et le fil, pressé par la masse *p* placée à l'intérieur d'un tube de verre qui la guide, descend peu à peu. Dans ce mouvement, il entraîne un galet G contre lequel il est appuyé par le ressort à contacts multiples S, le même qui amène le courant. Une aiguille *i*, fixée à l'axe du galet, se meut devant un cadran C gradué en ampères-heures.

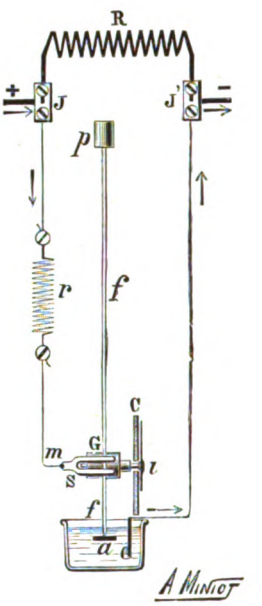


Fig. 2. — Détails du compteur.

L'ensemble que nous venons de décrire est disposé à l'intérieur d'une boîte en bois qui met tous les organes du compteur à l'abri de la portée de la main. Des ressorts frottants, vissés dans la boîte, établissent les contacts avec le compteur, de sorte que l'on peut enlever celui-ci avec la plus grande facilité et même le remplacer par un autre, en le faisant glisser dans une rainure ménagée à cet effet, sans avoir aucun organe à démonter.

Il arrive quelquefois, dans le cas de très fai-

Digitized by Google

bles courants, 0,3 ampère par exemple, que le compteur semble éprouver quelque hésitation dans sa marche. Cette hésitation peut provenir de deux causes :

L'extrémité du fil peut parfois s'émousser sous l'influence d'un choc quelconque; dans ce cas le compteur avance brusquement, mais dans la période suivante de fonctionnement, la pointe se reforme sans que le fil descende; le compteur reste alors stationnaire un certain temps et il est bien évident que, l'usure étant proportionnelle au nombre d'ampères-heures qui traversent l'appareil, ces deux effets se balançent d'une manière absolue.

Il peut encore se faire que la pointe se déforme sous l'action du courant; la marche du compteur est alors saccadée; mais, pas plus que dans les cas précédents et pour les mêmes raisons, aucune erreur n'est possible.

La simplicité de la construction, l'absence d'aimants permanents et de toute pièce magnétique, l'emploi d'un fil de maillechort pour former la résistance R, font que les indications de cet instrument sont toujours comparables et ne sont influencées ni par les champs magnétiques environnants, ni par l'échauffement de R.

Il convient surtout aux petites et moyennes installations.

J. REYRAL.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Emploi de l'électricité pour la carburation superficielle des plaques de blindage et pour l'affinage des métaux.

On sait que, pour empêcher la pénétration des projectiles, les couches superficielles des plaques de blindage doivent être très dures et que, d'autre part, pour éviter la rupture de ces plaques par le choc, il est nécessaire que les couches profondes soient malléables. Pour obtenir cette double condition, l'Américain Harvey eut l'idée de cémenter superficiellement les plaques de blindage en les plaçant, recouvertes de charbon de bois, sur la sole d'un four à réverbère chauffé par un grand nombre de foyers latéraux; on les trempe ensuite par aspersion d'eau. Le même procédé appliqué aux aciers contenant 3 p. 100 environ de nickel donne d'excellents résultats.

Malheureusement cette cémentation exige un temps fort long (douze à quinze jours). Le courant électrique semble devoir bientôt diminuer considérablement la durée de cette opération.

D'un autre côté, l'électricité pourra un jour être un auxiliaire puissant en métallurgie pour l'affinage des métaux, autrement que par voie électrolytique proprement dite.

Voici en effet, ce que disait M. Jules Garnier dans une conférence faite récemment à l'Association française pour l'avancement des sciences :

Je cherchai moi-même à raccourcir le temps nécessaire aujourd'hui pour carburer les blindages et mes réflexions me conduisirent à penser qu'on pouvait pour cela favoriser le mouvement du carbone par l'action du courant électrique. Mes prévisions se réalisèrent et je reconnus qu'en prenant le blindage pour cathode et pour anode une plaque de tôle recouvrant la surface à cémenter, mais avec une mince couche de charbon de bois entre les deux, un courant de 3 ou 4 volts et 50 ampères étant établi, pendant que l'ensemble du dispositif était chauffé dans un four au rouge, la cémentation de la surface du blindage s'opérait assez rapidement pour qu'on évitât de brûler le métal. Jusqu'à présent mes essais sont restés dans le domaine théorique, et je reconnais que pour mettre mon procédé en œuvre, il y a encore plusieurs difficultés à vaincre.

Cependant mes recherches m'ont permis de signaler un fait qui n'était pas connu : la possibilité du transport du carbone par l'électri-

Digitized by Google

cité dans le sens du pôle positif au pôle négatif. Ce premier résultat étant établi, je cherche maintenant à me servir du courant électrique aidé de la chaleur pour éliminer des bains de métaux les métalloïdes nuisibles, tels que le soufre, le phosphore, de même à séparer les métaux alliés. Les résultats déjà obtenus et applicables au nickel me permettent, dès à présent, d'affirmer qu'il y a de ce côté une voie nouvelle des plus fécondes.

J. R.

Le recuit électrique des cuirasses de navires, par Elihu Thomson (1),

On s'était déjà servi de la soudure électrique dans la construction des gros projectiles; aujourd'hui on emploie l'électricité pour produire par endroits sur les cuirasses des navires des parties vulnérables aux outils. Les plaques de cuirasse sont cémentées, c'est-à-dire que leur surface extérieure est transformée en acier par le procédé bien connu de la cémentation. L'épaisseur de la couche aciérée varie de 10 à 20 mm. environ.

Pendant la cémentation, certaines parties de la surface peuvent être protégées contre la carburation, mais il est assez difficile de déterminer à l'avance les parties qui devront rester à l'état de fer doux, afin qu'elles puissent être percées et taraudées. On dut donc rechercher un procédé qui permît de décarburer sur place les parties des plaques que les nécessités du fixage sur la charpente du navire désignent au travail du foret. A cet effet, on a essayé de se servir du chalumeau oxhydrique; mais non seulement il était difficile de localiser l'échauffement et de suffire aux pertes de chaleur par conduction à travers toute la masse de fer, mais encore le refroidissement subséquent était toujours trop rapide et amenait une trempe plus ou moins dure.

C'est alors que la Thomson Electric Welding C° songea à l'application de ses procédés électriques. Le procédé employé consiste essentiellement à faire passer un courant entre deux électrodes placées à une certaine distance sur la surface de la plaque, et à chauffer ainsi une portion de la plaque à la température du recuit, puis à faire tomber la température très lentement en diminuant graduellement l'intensité du courant. La température d'échauffement ainsi que la lenteur du refroidissement peuvent être ainsi réglées à volonté.

L'appareillage employé se compose d'une génératrice à courants alternatifs et d'un transformateur, dont le circuit secondaire à basse tension aboutit à deux blocs de cuivre, refroidis par une circulation de l'eau. Ces blocs sont pressés sur la plaque et servent d'électrodes. Les courants alternatifs favorisent la concentration de la chaleur, en ce que la self-induction resserre le courant dans une section assez faible de la plaque, et localise l'échauffement à la surface.

A. H.

Chercheur de pôles.

Cet appareil de poche permet de trouver rapidement le sens du courant dans un conducteur d'un circuit fermé sur lequel aucune prise de contact ne peut être faite et d'indiquer aussi, à volonté, le sens du courant lorsque des prises de contact peuvent être faites sur les conducteurs du circuit, celui-ci étant ouvert ou fermé.

Il se compose essentiellement d'un couple astatique, horizontal, sur lequel l'action directrice de la terre agit très faiblement; l'aimant directeur AB (fig. 1) suffit pour lui donner une orientation à peu près fixe quelle que soit l'orientation de l'appareil par rapport à la direction magnétique terrestre nord-sud. Sur cet équipage mobile est collé un disque D (fig. 1 et 2) en bristol; il porte les inscriptions + et — et un trait rouge X'. Une pédale d'arrêt fixe l'équipage lorsque l'appareil est au repos et que le couvercle est fermé.

Le fonctionnement de cet appareil est des plus simples. 1° Dans le cas où des prises de

(1) *The Electrical Engineer*, de New-York.

Digitized by Google

courant peuvent être faites sur les conducteurs du circuit, ou dans celui où on possède les conducteurs venant d'une source électrique quelconque : piles, dynamos, accumulateurs, etc., les deux conducteurs sont amenés un instant au contact des deux bandes métalliques RR′ (deux petites cavités servent à établir ce contact momentané), et, immédiatement, l'apparition dans les ouvertures OO′ des signes + et — ou — et +, suivant SS ou S′ S′ (fig. 2),

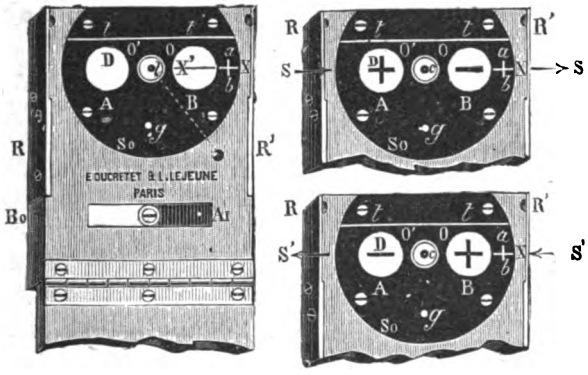


Fig. 1 et 2. — Chercheur de pôles.

montre de quels côtés se trouvent ces signes et, par suite, le sens du courant.

Le circuit intérieur, compris entre RR′ est d'environ 500 ohms; ce circuit peut être traversé par les courants les plus faibles et un instant par ceux des distributions à 110 volts.

2° Si le conducteur du circuit à essayer n'a pas ses extrémités libres, il suffit d'amener ce conducteur au-dessus de l'appareil, au voisinage de la ligne *tt* tracée sur la plaque So, il agit encore sur l'équipage mobile. L'apparition immédiate des signes + et —, suivant S ou S′, (fig. 2,) indiquera encore le sens du courant qui circule dans le conducteur continu.

Le sens de courants très faibles, dans les deux cas ci-dessus, est aussi indiqué par cet appareil, en observant le sens du déplacement du trait rouge X′ (ce trait rouge X′ est toujours rapidement amené en regard du trait fixe X en déplaçant légèrement l'aimant directeur AB) par rapport au trait fixe +; si le trait rouge va du côté *a*, le pôle + sera du côté A gravé sur So, si ce trait rouge se déplace du côté *b*, le pôle + sera du côté B.

J. C.

Notes sur la téléphonie aux États-Unis, par G. de la Touanne (1).

POSTE D'ABONNÉ — TRANSMETTEUR A GRANDE DISTANCE ÉLÉMENT FULLER

Les postes d'abonnés subissent une heureuse modification. Le réseau de téléphonie interurbaine prenant sous une impulsion hardie et judicieuse une extension véritablement merveilleuse, les demandes des abonnés des diverses villes pour être autorisés à s'en servir à partir de leur domicile deviennent de plus en plus nombreuses; il n'y est fait droit que sous la condition que les abonnés acceptent la trans-

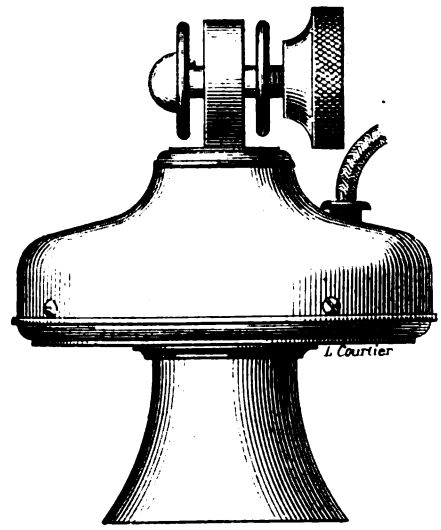


Fig. 28. — Microphone. Vue d'ensemble.

formation, à titre d'ailleurs onéreux, de leur poste, et la substitution, aux anciens transmetteurs, des microphones les plus perfectionnés qu'on possède actuellement, ceux du type dit « solid back » (fig. 28, 29 et 30) : si la ligne urbaine de l'abonné est unifilaire, l'abonné doit en outre se pourvoir d'une ligne à deux fils.

(1) Voir l'*Eclairage électrique* du 9 mars 1895, p. 466.

Digitized by Google

Microphone. — Le microphone dont nous parlons, adopté depuis quatre ans pour la grande distance, est un microphone granulaire. Il consiste essentiellement en deux pas-

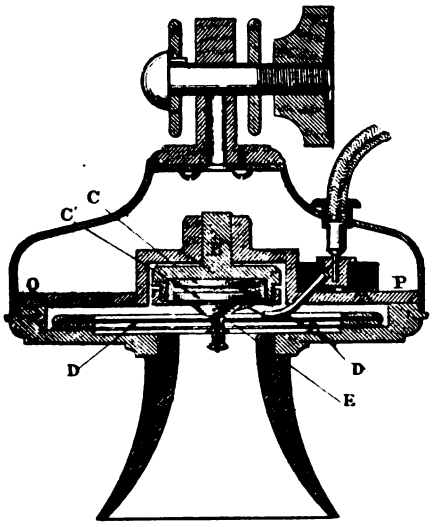


Fig. 29. — Microphone. Détails.

tilles de charbon, C et C' maintenues, la première contre le fond d'une petite boîte métallique verticale B, la seconde par un écrou E,

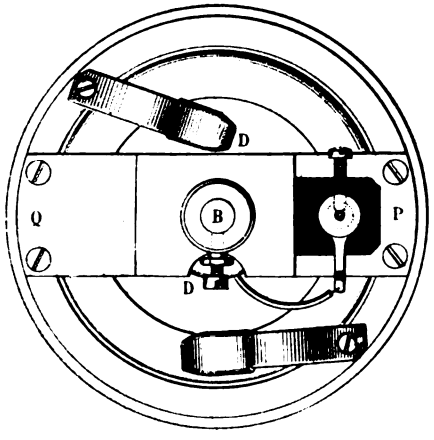


Fig. 30. — Microphone. Détails.

contre un disque en mica, formant couvercleà la dite boîte, et entre lesquelles est logée la poudre ou fine grenaille de charbon. L'ensemble est maintenu par un pont métallique PQ vissé sur la caisse de l'appareil et auquel aboutit une des extrémités du circuit primaire; la seconde extrémité aboutit en E. La membrane vibrante D du microphone est fixée sur la tête de E à l'aide d'un petit écrou; quand on parle devant cette membrane, les vibrations en sont transmises à la pastille C' qui peut prendre des mouvements de petite amplitude grâce à l'élasticité du disque de mica.

Le microphone est monté sur un support métallique, support mural, bras vertical sur meuble formant poste téléphonique spécial, ou pied mobile pour table-bureau, et maintenu sur ce support à l'aide d'un écrou qui permet de donner à l'appareil toutes les inclinaisons sur l'horizontale, la position normale correspondant à la verticalité de la membrane.

Les microphones granulaires imaginés jusqu'ici, bons pour les postes portatifs où la grenaille de charbon est perpétuellement remuée, ont toujours été, pour les postes fixes, inférieurs en permanence aux meilleurs microphones à charbons massifs; la cause en est dans le tassement des grains au bout de quelque temps. De tous les avis que nous avons recueillis sur cette importante question de la permanence, il résulte que, dans le microphone « solid back » le tassement, en pratique, pour une raison ou pour une autre, ne se produit ou ne se manifeste pas; dans un réseau où il existe 7 à 800 de ces instruments en service, et où ce type de microphone est employé depuis trois ans, on n'entend peut-être pas parler de dérangement dû au tassement une fois en six mois. Plus de 40.000 de ces instruments sont déjà en service et permettent de communiquer aux distances les plus diverses, celles qu'on peut rencontrer à l'intérieur d'un même réseau, comme celles entre des villes aussi éloignées que New-York et Washington, soit 1.500 kilomètres; le résultat obtenu entre ces deux dernières villes est absolument remarquable, nous avons pu le constater à diverses reprises; la communication est excellente. Nous avons communiqué d'ailleurs à des distances encore plus grandes, de Boston ou Washington à Chicago, en passant par le bureau de New-York. L'intérêt considérable et tout particulier que présente

Digitized by Google

la qualité d'un transmetteur, pour la téléphonie à grande distance, vient de l'économie que cette qualité permet de réaliser sur le coût des fils; c'est ainsi que le circuit New-York-Chicago est constitué en fils de cuivre dur de $4^{mm},18$ à peine, ayant une conductibilité égale à 97 p. 100 de celle de l'étalon de Matthiesen: si l'on tient compte que les poids sont entre eux comme les carrés des diamètres, on saisit l'importance de cette considération pour des lignes aussi longues que celles des États-Unis.

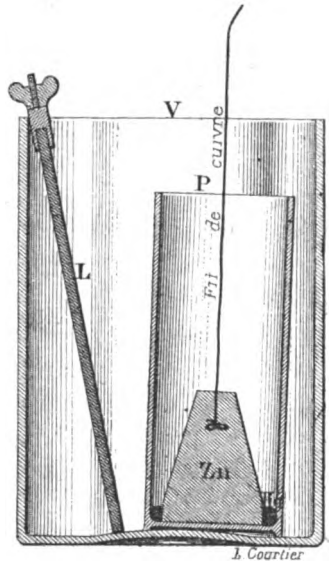


Fig. 31. — Élément Fuller.

Le microphone ne fournit d'ailleurs cet excellent service qu'à la condition d'être parfaitement réglé, et l'on doit noter que, si le réglage se maintient très bien une fois effectué, il constitue en lui-même un opération fort délicate : aussi, pour éviter qu'un zèle maladroit ne conduise, sous prétexte de vérification, à le démonter et remonter à propos d'un incident quelconque, et à en fausser ainsi complètement le fonctionnement, l'ordre absolu est-il donné, au cas où un instrument serait supposé défectueux, de n'y toucher sous aucun prétexte ni en aucune mesure et de le renvoyer tel quel à l'atelier central d'ajustage. En outre, pour ces transmissions à longue distance, le microphone doit fonctionner et il est remarquable qu'il le puisse avec une pile très forte (pour ces grandes distances, bien entendu); la pile employée est composée de trois éléments Fuller, montés en série.

Élément Fuller. — Le modèle adopté diffère légèrement de celui imaginé il y a une vingtaine d'années (1). Il est constitué (fig. 31) par un couple zinc-charbon où le zinc plonge dans une dissolution de sel marin et le charbon dans une solution de bichromate de soude acidulée à l'acide sulfurique; l'eau salée et le zinc, avec une petite quantité de mercure, sont placés dans un vase poreux P, le zinc, en forme de cône, reposant sur le fond du vase poreux: dans le vase extérieur en verre V se trouvent la solution de bichromate de soude et la lame de charbon L. La force électromotrice est légèrement supérieure à 2 volts.

Le microphone « solid back » donne encore de bons résultats avec une pile moins forte que celle dont nous venons de parler, mais la portée de l'instrument est alors réduite.

LIGNES AUXILIAIRES.

Les dimensions extraordinaires des villes des États-Unis (New-York a plus de 24 kilomètres de long sur 3 de large; Chicago couvre 416 kilomètres carrés, tandis que Paris en couvre 72, etc.), rendent, dans un nombre considérable de cas, absolument impossible la création de bureaux uniques; l'entreprise serait tuée par le coût d'établissement des lignes d'abonnés. De plus, sur ces immenses surfaces la population est peu dense : à New-York, où cette densité est la plus forte, elle n'atteint pas 15.000 habitants par kilomètre carré, tandis qu'à Paris elle est approximativement de 30.000. La répartition des abonnés n'étant point uniforme dans une ville, ces densités ne sont mentionnées ici qu'à titre d'indication; l'étendue des surfaces n'en existe pas moins, et l'avantage de la concentration

(1) *Annales télégraphiques*, t. III, p. 489; 1876.

Digitized by Google

des abonnés sur un seul multiple a pour contre-partie des frais tellement considérables dans l'établissement des lignes que, par suite de la limitation nécessaire des districts desservis par un même bureau, l'obligation de construire de très grands multiples ne s'est pas encore présentée : par contre, des efforts persévérants ont été faits pour perfectionner le maniement des lignes auxiliaires et en augmenter le rendement. Nous ne pouvons cependant oublier que, même dans ces conditions défavorables à la concentration des lignes, on en vient à construire des multiples pour plus de 5.400, c'est la capacité d'un des derniers multiples mis en service; en outre, et bien que les jacks actuels permettent d'établir un multiple de 10.000 environ par la simple adoption d'un bâti convenable, on ne considère pas comme impossible que cette capacité soit insuffisante dans l'avenir. Enfin il faut ajouter que l'on arrive déjà pour certains bureaux à avoir une longueur de lignes de départ égale au 1/3 de la longueur totale des lignes des abonnés reliés au bureau et une proportion de 50, 60 et plus de 80 p. 100 de communications qui doivent être transférées à un autre bureau. Indépendamment des autres observations qu'appelleraient ces dernières remarques, il y a lieu de tirer cette conclusion, c'est que le mode d'exploitation des lignes auxiliaires sollicite toute l'attention. Evaluer le nombre des lignes auxiliaires par le nombre d'abonnés, dire qu'il en faut une par 5, par 10, par 20 abonnés n'a aucun sens en soi-même : ce qui importe c'est le nombre de messages qu'on y peut faire passer en un temps donné, l'élévation de ce nombre correspondant à la fois à une économie dans les frais de premier établissement, à une économie dans les frais d'exploitation et, toutes choses égales d'ailleurs, à un meilleur service. Tout règlement de service, toute disposition matérielle qui aura pour effet d'abréger les manœuvres, d'éviter les erreurs, sera donc la source d'un gain pour l'entreprise et d'un gain pour l'abonné. Au premier point de vue, celui des règles de service, nous devons ajouter un mot à ce que nous avons dit précédemment (1) sur les lignes auxiliaires de départ : nous avons signalé le danger qu'il y avait à donner aux opérateurs la libre disposition de toutes les lignes de départ et l'intérêt qu'il y avait à répartir ces lignes par groupes entre les diverses sections, chacune pouvant d'ailleurs être prise dans plusieurs sections : or on a essayé le système qui consiste à faire prendre la ligne auxiliaire par l'opérateur d'arrivée au bureau appelé et non par l'opérateur du poste de départ. En d'autres termes, l'opérateur du bureau A recevant une demande de communication pour un abonné du bureau B, le transmet verbalement séance tenante à l'opérateur d'arrivée de B (2), *qui l'invite* à mettre la ligne du demandeur *sur la ligne auxiliaire x* que lui-même sait libre, puisqu'il est le seul à en disposer à l'arrivée et qu'il la voit libre sous ses yeux, s'en emparant en même temps qu'il l'indique à l'opérateur de départ; celui-ci attend, il est vrai, un instant, mais on ne doit pas perdre de vue que, dans l'autre procédure, c'est-à-dire lorsque c'est l'opérateur de départ qui désigne la ligne auxiliaire à employer, il doit, avant de la connaître lui-même, l'avoir essayée et souvent en avoir essayé un certain nombre, puisque ces lignes de départ sont multipliées dans plusieurs sections de A et peuvent avoir été prises par d'autres opérateurs. En fait, la méthode essayée a, paraît-il, donné de meilleurs résultats et plus prompts que celle-ci ; il semble donc qu'il y ait lieu de laisser à l'opérateur d'arrivée le choix de la ligne auxiliaire. La ligne auxiliaire, à l'arrivée, non plus que le cordon servant à la relier à la ligne du demandé, n'est munie d'aucun annonciateur de fin de conversation : la communication une fois établie, l'opérateur de départ seul en devient responsable, et c'est à lui qu'incombe le soin de recevoir le signal de

(1) *Annales télégraphiques*, t. XVIII, 1891, p. 156.

(2) Cette communication, on le sait, est faite sur un circuit d'avis verbal, aboutissant au téléphone de l'opérateur d'arrivée et disposé au poste de départ de façon que les téléphonistes s'y relient par une simple pression sur une clef.

Digitized by Google

fin de conversation, de rompre le premier la communication et d'aviser, par le circuit d'appel verbal, l'opérateur du poste d'arrivée.

On a cherché d'ailleurs à laisser à l'opérateur de départ, la direction entière des opérations en évitant de l'obliger, avec la procédure antérieure, à essayer les différentes lignes qu'il a à sa disposition. Dans un multiple construit surtout à titre expérimental, de petits signaux visibles ou mieux signaux à vue, ont été annexés à chaque jack de ligne de départ; le signal paraît dans les sections où la ligne est multiplée aussitôt qu'elle est prise dans l'une quelconque de ces sections; les opérateurs des autres sections sont donc avertis par un simple coup d'œil que telles et telles lignes sont occupées; la perte de temps due à l'essai de plusieurs lignes disparaît donc. Enfin, l'on a été encore plus loin : dans ce même multiple, les lignes d'arrivée étaient munies à leur tour de signaux à vue, également de petites dimensions pour ne point perdre de place sur le multiple, et fonctionnant quand, à la fin d'une conversation, la communication avait été rompue au poste de départ : de cette façon, l'opérateur du poste d'arrivée n'a même plus besoin d'être avisé verbalement de cette fin de conversation par l'opérateur du poste de départ. Les avis de service semblent ainsi réduits au minimum. Ce double équipement, au départ et à l'arrivée, constitue, en principe, un perfectionnement sérieux pour l'usage des lignes auxiliaires.

Nous ne saurions mieux faire, pour montrer la sollicitude avec laquelle a été étudiée et travaillée cette question des lignes auxiliaires, que d'indiquer le mode opératoire adopté à New-York par la Compagnie de téléphonie à grande distance dont la remarquable initiative s'accompagne d'un souci constant des détails.

La Compagnie de longue distance possède à New-York, dans le bâtiment où se trouve le principal bureau de téléphonie locale, le plus important de ses postes; 67 (soixante-sept) circuits de conversation y aboutissent; la Compagnie a été tout naturellement conduite à y étudier le système le plus favorable à la rapidité de mise en communication entre les abonnés locaux et ces nombreuses lignes. La méthode à laquelle on est parvenu mérite considération.

Les lignes d'abonnés arrivent à un tableau qui constitue, en fait, la première section du multiple desservant le poste urbain. Les grandes lignes sont réparties entre douze tableaux.

Entre la section de multiple et chacun des douze tableaux sont posées des lignes de renvoi, partant du tableau de grande distance sur jacks et annonciateurs et se terminant, à la section de multiple, par des cordes uniques. Des communications sont arrangées de telle sorte que, si l'opérateur de multiple doit se servir le premier d'une de ces lignes de renvoi, au moment même où il enlève de son alvéole la fiche terminale, c'est-à-dire avant que rien soit modifié sur le tableau de grande distance, l'annonciateur correspondant, sur ce tableau, fonctionne et le volet tombe ; de plus, l'armature de cet annonciateur reste attirée et le volet tombé ne peut être raccroché, jusqu'à ce qu'une fiche ait été enfoncée dans le jack de la ligne de renvoi. Puis, quand cette fiche est ultérieurement retirée du jack en question, un signal apparaît à la première section de multiple et l'annonciateur du tableau, automatiquement, fonctionne à nouveau; le signal disparaît et l'annonciateur peut être ramené au repos seulement quand la fiche terminale de la ligne de renvoi, retirée, à la section de multiple, du jack général qu'elle occupait, est replacée et enfoncée dans son alvéole. — Les tableaux de longue distance sont munis de paires de cordes avec annonciateurs, clefs d'écoute, etc.

L'équipement du poste comprend en outre un tableau intermédiaire, servant à établir des communications entre tableaux de grandes lignes; il est muni de doubles cordes dépourvues d'annonciateurs. Chaque tableau de grande distance est relié à ce tableau intermédiaire par des lignes de renvoi, partant

Digitized by Google

du tableau de grande distance sur jacks accompagnés d'annonciateurs et arrivant au tableau intermédiaire sur jacks sans annonciateurs.

Ceci posé, voici quelles sont les opérations de mise en communication.

Trois cas peuvent se présenter :

a) Un abonné, numéro 1250 par exemple, de New-York, veut communiquer avec un abonné d'une autre ville, soit Boston.

b) Un abonné B d'une autre ville, soit Boston, demande un abonné (1250) de New-York.

c) Un abonné d'une autre ville, soit B de Boston, demande un abonné d'une autre ville, soit W de Washington.

a) L'abonné numéro 1250 de New-York veut communiquer avec un abonné de Boston. Il sonne alors comme pour une communication ordinaire et dit simplement à la téléphoniste urbaine « Donnez-moi Boston ». La téléphoniste, à l'aide d'un circuit d'avis verbal aboutissant au téléphone que l'opérateur de la première section de multiple a constamment à l'oreille, avise cet opérateur que 1250 demande Boston. L'opérateur saisit alors une fiche de corde unique correspondant au tableau Boston, la porte dans le jack général du demandeur et, par le simple fait qu'il a sorti la fiche de son alvéole, fait tomber, à la section de grande distance, le volet en communication avec cette corde.

La téléphoniste de grande ligne prend une fiche appartenant à une paire de cordes et l'insère dans le jack de la ligne de renvoi ; dès lors, elle se trouve avoir coupé l'annonciateur de celle-ci et peut en relever le volet. Par sa clef d'écoute, elle reçoit la demande de l'abonné.

a') Si la direction demandée, Boston, est libre, la téléphoniste sonne Boston à l'aide de la seconde fiche de la paire de cordes et d'une clef d'appel et, si elle obtient l'abonné demandé, invite à parler 1250 qui a gardé le téléphone à l'oreille ; elle ramène au repos la clef d'écoute, laissant ainsi sur la ligne l'annonciateur final. Quand le signal de fin de conversation arrive, elle rompt les communications : de ce fait, un signal apparaît à la section de multiple, en face de la corde employée, et le volet de l'annonciateur de la ligne de renvoi tombe. L'opérateur de multiple, prévenu par le signal, rompt également la communication qu'il a établie ; aussi longtemps qu'il ne l'a pas fait, la téléphoniste de grande ligne en est avertie, l'armature de l'annonciateur demeurant attirée et le volet n'en pouvant être relevé : si cette situation se prolonge, la téléphoniste se porte sur le circuit dont elle dispose pour parler à l'opérateur et appelle l'attention de celui-ci.

a'') Si la ligne de Boston ou l'abonné n'est pas disponible, l'opératrice de grande ligne en avise 1250, rompt (ou ne rompt pas, si elle estime avoir l'abonné à bref délai) les communications, ce qui produit les mêmes effets que ci-dessus, et ultérieurement redemande 1250 comme elle le ferait dans l'hypothèse (*b*).

b) Un abonné, B, de Boston, demande un abonné, 1250, de New-York. L'opératrice new-yorkaise Boston se porte sur le circuit d'audition de l'opérateur de multiple et lui demande 1250 sur la ligne de renvoi *t*. L'opérateur, avec une fiche spéciale, fait l'essai de la ligne 1250 pendant que la téléphoniste met une fiche dans le jack de la ligne de renvoi et se porte sur cette ligne avec sa clef d'écoute ou, pour être plus exact, y reste puisqu'elle a déjà, avec l'autre fiche de la paire de cordes, pris communication avec Boston.

b') Si l'opérateur de multiple trouve libre la ligne 1250, il achève la communication avec la fiche et la corde de la ligne de renvoi indiquée *t* et la téléphoniste n'a plus qu'à sonner, avec sa clef d'appel, l'abonné demandé 1250.

b'') Si l'opérateur de première section trouve occupée la ligne 1250, il porte la fiche de la ligne de renvoi *t* sur un jack spécial où aboutit la dynamo d'appel. La téléphoniste en entend le ronflement, informe Boston que la ligne 1250 est occupée puis, en principe, rompt la communication de la grande ligne avec la double corde et de celle-ci avec la ligne de renvoi. En réalité, à ce moment, on utilise la ligne au mieux, attendant que 1250 soit libre

Digitized by Google

ou faisant passer d'autres communications, suivant le cas. C'est d'ailleurs à la téléphoniste de grande ligne à redemander 1250 lorsque la grande ligne est libre de nouveau; l'opérateur de première section n'a point à guetter le moment favorable.

c) Un abonné, B, de Boston, demande un abonné, W, de Washington. La téléphoniste new-yorkaise Boston, par le circuit d'audition de la téléphoniste en service au tableau intermédiaire, avise celle-ci qu'elle ait à mettre la section Washington sur la ligne de renvoi *m* par exemple et enfonce dans le jack d'où part cette ligne sur son propre tableau la seconde fiche de la paire de cordes qui lui a déjà servi à répondre à Boston. La téléphoniste intermédiaire réunit par une paire de cordes la ligne de renvoi *m* à une ligne de renvoi *n* aboutissant au tableau Washington et fait, par là, sur ce tableau, tomber l'annonciateur de la ligne de renvoi *n*; elle avertit ainsi, sans prononcer un mot, la téléphoniste new-yorkaise Washington qu'elle ait à se porter sur la ligne de renvoi *n*. Cette téléphoniste enfonce dans le jack de *n* une fiche d'une paire de cordes et, par la clef d'écoute, reçoit les indications de la téléphoniste new-yorkaise Boston. A partir de ce moment, la téléphoniste Washington devient seule responsable de la communication qu'elle achève. Quand la conversation est terminée, la téléphoniste Washington, par le circuit d'audition de la téléphoniste intermédiaire, lui notifie l'ordre de rompre la communication; celle-ci exécute l'ordre et en même temps avise la téléphoniste Boston.

On voit que tout a été combiné de façon à réduire les conversations de service et à en enlever le prétexte.

Il est bon de noter que, sur les directions importantes, Boston et Philadelphie, les appels de poste à poste se font par circuits d'audition et non par sonneries et fonctionnement d'annonciateurs; en outre, les circuits de conversation d'abonnés sont partagés en deux groupes, circuits pour communications en provenance de New-York, circuits pour communications à destination de New-York.

Toute cette organisation complète un outillage en circuits des plus largement conçus, où l'on trouve par exemple, entre deux villes distantes de 380 kilomètres environ (New-York et Boston), vingt circuits tant omnibus que directs. La conséquence de cet état de choses est que les communications sont données avec une grande rapidité, à tel point que les attentes de cinq minutes sont considérées comme exceptionnelles.

(*A suivre.*)

Appareils pour la vérification des paratonnerres.

La vérification la plus ordinaire d'un paratonnerre consiste à s'assurer de la continuité de son conducteur, de la pointe au sol, en reliant la tige du paratonnerre à une sonnerie ou à un galvanoscope mis en communication avec une pile et avec le sol. Le bruit de la sonnerie et la déviation de l'aiguille du galvanoscope indiquent bien qu'il n'existe (en apparence) aucune solution de continuité dans le circuit, mais ils ne donnent aucune appréciation de la faible résistance électrique qui doit exister entre la tige du paratonnerre et le sol.

Or, on sait par expérience que cette résistance est parfaite entre 1 et 5 ohms, qu'à partir de 10 ohms le circuit commence à être défectueux et qu'il faut rechercher la cause de cette résistance anormale qui constitue un réel danger lorsqu'elle atteint 20 à 25 ohms. Il faut donc faire une mesure, au moins approximative, de la résistance.

Elle peut être faite au moyen du pont de Wheatstone, mais l'emploi de cet appareil est délicat.

L'appareil que représente la figure 1 peut au contraire être mis entre toutes les mains. L'essai se fait encore avec une sonnerie S et un galvanomètre G, mais cet appareil permet d'obtenir rapidement la détermination, dans les limites indiquées ci-dessus, de la résistance électrique du circuit.

En abaissant, l'un après l'autre, un instant, les ressorts *s* ou *g* de la clef M', on met dans le circuit soit la sonnerie S, soit le galvano-

Digitized by Google

mètre G muni d'une pédale d'arrêt A; la pile est placée dans la boîte de l'appareil, et le nombre d'éléments mis en action, automatiquement, n'est pas le même dans les deux cas; il est minimum lorsque le galvanomètre G est dans le circuit.

La borne L est reliée à la borne d'entrée du conducteur mobile contenu dans la boîte R*o* (dévidoir-enrouleur); ce conducteur, par l'intermédiaire de la borne-pince P*i* peut être amené en bon contact avec le paratonnerre P*a* et de son conducteur dans tout son parcours jusqu'au sol T. La borne T de l'appareil d'essai est reliée à la tige de terre auxiliaire T'; la terre complète le circuit.

En appuyant sur *s* ou sur *g* de la double

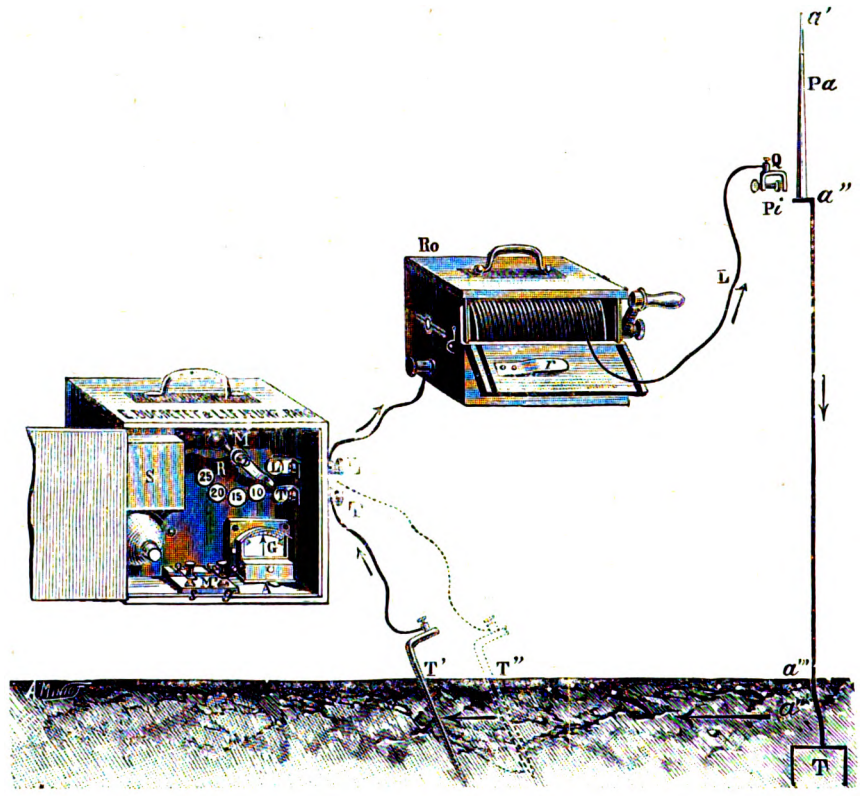


Fig. 1. — Appareil pour la vérification des paratonnerres.

clef M' la sonnerie S ou le galvanomètre C sont mis en circuit; on note la déviation du galvanomètre ou tout simplement l'intensité du son de la sonnerie.

En plus des organes qui viennent d'être décrits l'appareil comprend une série de quatre bobines de résistance R de 10, 5, 5, 5 ohms; le commutateur M peut ainsi mettre en circuit 10, 15, 20, 25 ohms, suivant la position de sa manette sur les gouttes de contact ainsi marquées.

En plaçant le commutateur M sur la goutte L (ligne) et en abaissant en M' le ressort *s* ou *g*, on obtient un certain bruit de la sonnerie S, et une certaine déviation au galvanomètre G que l'on note. Dans ces deux cas, le circuit total comprend : celui du paratonnerre et de son conducteur jusqu'au sol T, la terre auxiliaire T' et la résistance connue du conducteur du dévidoir R*o* (cette résistance est de 6 à 7 ohms).

Immédiatement, en mettant successivement le commutateur M sur les gouttes 10, 15, 20, 25 ohms, le son de la sonnerie et la déviation

Digitized by Google

du galvanomètre indiqueront, par comparaison, la résistance du circuit total.

S'il y a égalité de son ou de déviation, la manette M étant, par exemple, sur la goutte 15, on retranchera la résistance du conducteur mobile R*o*, soit 7 ohms, et celle de la terre auxiliaire T', soit 3 ohms, par exemple, que l'on aura mesurée ainsi qu'il est dit plus loin.

On pourra conclure, dans le cas de cet exemple, que la résistance du paratonnerre de la tige au sol ne dépasse pas 5 ohms.

Il en sera de même pour les autres gouttes introduisant des résistances plus ou moins élevées dans le circuit d'essai, celui de la ligne L étant coupé à ce moment.

Si la résistance observée dépasse 10 ohms, en plaçant la pince P*i* en a', a'', a''' à fleur du sol et en a'''' au-dessous du sol, on trouvera rapidement les parties défectueuses du paratonnerre.

Un fil additionnel, aussi court que possible, reliant directement la borne T de l'appareil d'essai au conducteur en a''' ou en a'''', permettra de faire l'essai sans la terre auxiliaire T' et de se rendre compte de suite si le défaut est entre le conducteur a'''' et la terre T du paratonnerre. Cet essai exige une seconde pince-borne P*i*.

La mesure de la résistance des terres T et T' se fait d'une façon analogue. La résistance introduite par la tige auxiliaire T' peut être assez élevée, suivant la nature du sol où on se trouve; afin de ne pas appliquer cette résistance à celle du paratonnerre T, il est utile de déterminer la valeur de cette résistance additionnelle entre T et T'. Il suffit d'employer une deuxième tige de terre T'' semblable à la première T' et de les relier à l'appareil d'essai comme il sera dit. Supprimant la communication entre le rouet-enrouleur RQ et la borne L de l'appareil d'essai, on reliera, avec le fil additionnel aussi court que possible, la borne L avec le conducteur du paratonnerre en a''' ou en a'''' et on détachera le fil de T'' (fig. 1, pointillé) de la borne L. Procédant comme il a été dit par mesures comparatives, superposées rapidement, on estimera la valeur R de la résistance entre les terres T et T'; puis la valeur R_1 entre T et T'' en l'attachant à la borne T de l'appareil d'essai, le conducteur de T' étant détaché; puis entre T' et T'' en supprimant le fil additionnel et en attachant le fil de T'' à la borne L suivant la figure 1, cette dernière mesure donnera la valeur R_2. La communication entre R*o* et L est supprimée ainsi qu'il a été dit.

De ces mesures rapides on en déduira la valeur de la terre auxiliaire $T' = \frac{R + R_2 - R_1}{2}$

et celle de la terre du paratonnerre,

$$T = \frac{R + R_1 - R_2}{2}$$

La distance entre les tiges de terre T'' T''', et celle T du paratonnerre doit être aussi réduite que possible.

Les tiges de terre T' T'', identiques, sont en tube de fer étamé à tête coudée avec borne d'attache, l'extrémité inférieure terminée en pointe. Une ouverture à la partie supérieure et des trous à la partie inférieure permettent, en versant de l'eau à l'intérieur de ces tiges, d'obtenir une bonne communication avec le sol.

J. C.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Sur le potentiel magnétique, par Frederick Bedell (1),

On sait qu'un circuit fermé parcouru par un courant constant est équivalent, au point de vue des actions magnétiques extérieures, à un feuillet magnétique de même contour que le courant et dont la puissance est égale à l'in-

(1) *Physical Review*, t. II, p. 298-302; janv.-fév. 1895.

Digitized by Google

tensité du courant. De cette équivalence, Clausius (1) conclut que les dimensions d'un pôle d'aimant peuvent être déduites de l'égalité.

surface × intensité de courant = moment magnétique
$= ml.$ (1)

Si l'on adopte le système électromagnétique, cette égalité conduit aux dimensions $M^{\frac{1}{2}}L^{\frac{3}{2}}T^{-1}$ qui sont également celles que trouve Maxwell. Si l'on adopte le système électrostatique, elle conduit aux dimensions $M^{\frac{1}{2}}L^{\frac{5}{2}}T^{-2}$, tandis que Maxwell trouve $M^{\frac{1}{2}}L^{\frac{1}{2}}$.

Cette divergence entre les résultats de Maxwell et ceux de Clausius, qui paraissent cependant reposer, les uns et les autres, sur des raisonnements corrects, donna lieu, en 1882, à une discussion (2) des plus intéressantes qu'il est utile de résumer avant d'exposer les considérations de l'auteur sur les dimensions du potentiel magnétique.

M, J.-J. Thomson fit remarquer que l'équivalence d'un courant et d'un feuillet n'est démontrée par l'expérience que dans le cas où le milieu environnant a une perméabilité magnétique égale à l'unité, et que, dans le cas où ce milieu aurait une perméabilité μ, l'égalité (1) devrait être remplacée par la suivante

μ × surface × intensité de courant = moment magnétique. (2)

Comme dans le système électromagnétique la perméabilité est un coefficient numérique sans dimensions cette égalité revient à l'égalité (1) lorsqu'on adopte ce système d'unités, et, par suite, conduit aux dimensions que donne Maxwell pour celles d'un pôle magnétique. Mais dans le système électrostatique la perméabilité μ a des dimensions exprimées par l'expression $M^{0}L^{-2}T^{2}$ et l'égalité (2) donne alors pour les dimensions d'un pôle, $M^{\frac{1}{2}}L^{\frac{1}{2}}$, qui sont précisément celles que trouve Maxwell d'une autre manière.

Mais Clausius objectait à ce raisonnement que si un courant et un feuillet magnétique sont équivalents, ils peuvent se remplacer mutuellement et que, par conséquent, une modification de la perméabilité du milieu dans lequel ils se trouvent doit avoir la même influence sur les actions du courant et sur celles du feuillet.

De son côté, le professeur Everett retrouva les dimensions données par Maxwell en partant de la loi de l'action d'un courant sur un pôle d'aimant et de celle de Faraday. Il en conclut que le raisonnement de Clausius devait être incorrect en quelque endroit, mais ne put reconnaître en quoi consistait son inexactitude.

Von Helmholtz n'intervint dans la discussion que pour faire remarquer le peu de confiance que l'on doit avoir dans l'équivalence absolue d'un courant et d'un feuillet et établir que l'hypothèse Ampère-Weber doit être regardée comme n'étant ni vérifiée ni complètement élucidée.

Le Dr Lodge montra qu'il y a lieu de distinguer entre la perméabilité magnétique de la portion de l'espace occupée par le feuillet équivalent au courant et la perméabilité du milieu environnant. Il établit que le moment magnétique d'un circuit traversé par un courant est égal au produit de l'intensité du courant par la surface limitée par le circuit et par la perméabilité de l'espace *intérieur* et qu'il est absolument indépendant de la perméabilité de l'espace *environnant*. L'égalité (2) est par conséquent correcte si l'on prend pour μ la perméabilité de l'espace intérieur. Par suite de cette distinction des perméabilités des deux portions de l'espace, l'objection faite en dernier lieu par Clausius au raisonnement de M. J.-J. Thomson se trouvait écartée et l'ex-

(1) Clausius. *Verhandl. des naturlust. Vereins des Preuss., Rheinlande und Westfalen*, t. XXXIX, 1882.

(2) J.-J. Thomson. *Phil. Mag.*, t. XIII, p. 427, et t. XIV, p. 225; 1882. — J. Larmor, *Idem*, t. XIII, p. 429. — J. D. Everett, *Id.*, t. XIII, p. 431. — C. K. Weak, *Id.*, t. XIII, p. 530. — R. Clausius, *Id.*, t. XIV, p. 124. — O. J. Lodge, *Id*, t. XIV, p. 357. — E. B. Sargent. t. XIV, 395. — Von Helmholtz, *Id.*, t. XIV, p. 430.

Digitized by Google

plication de la divergence des résultats trouvés par Clausius et Maxwell était trouvée.

La considération du potentiel magnétique conduit, comme le montre l'auteur, à des divergences analogues à celles qui ont motivé la discussion précédente.

Le potentiel magnétique en un point dû à un aimant ou à un courant est ordinairement défini par les égalités suivantes :

$$\text{potentiel magnétique dû à un aimant} = V = \Sigma \frac{m}{r}, \quad (4)$$

$$\text{potentiel magnétique dû à un courant} = V = \Sigma I \Omega, \quad (5)$$

m désignant la masse magnétique située à la distance r du point pour lequel on évalue le potentiel, I l'intensité du courant et Ω l'angle solide sous lequel on voit le circuit du point considéré.

Dans le système électromagnétique l'égalité (4) conduit aux dimensions

$$V = \frac{m}{r} = \frac{M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-1}}{L} = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} T^{-1} \quad (6)$$

pour le potentiel magnétique dû à un aimant, et l'égalité (5) aux dimensions

$$V = I\Omega = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} T^{-1} \quad (7)$$

pour le potentiel magnétique dû à un courant. Ainsi qu'on le voit les dimensions de ces deux potentiels sont les mêmes.

Si l'on se place dans le système électrostatique, les équations (4) et (5) conduisent aux dimensions

$$V = \frac{m}{r} = \frac{M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}}}{L} = M^{\frac{1}{2}} L^{-\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

$$V = I\Omega = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-2}, \quad (9)$$

qui ne concordent pas entre elles. Nous trouvons donc une divergence analogue à celle que l'on obtient entre les dimensions de la masse magnétique lorsqu'on part de l'équation (1).

Mais si l'on remplace l'équation (4) par la suivante.

$$V = \Sigma \frac{1}{\mu_1} \frac{m}{r}, \quad (10)$$

où μ_1 désigne la perméabilité magnétique du milieu *extérieur*, la divergence disparaît. En effet, la perméabilité ayant pour dimensions $L^{-2} T^2$ dans le système électrostatique, cette dernière équation conduit aux dimensions

$$V = \frac{m}{\mu_1 r} = \frac{M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}}}{L^{-2} T^2 L} = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-2} \quad (11)$$

qui concordent bien avec les dimensions (9).

Comme dans le système électromagnétique les dimensions de la perméabilité sont $M^0 L^0 T^0$, la substitution de l'équation (10) à l'équation (5) ne modifie pas les dimensions trouvées pour le potentiel magnétique d'un aimant dans ce système et ces dimensions concordent encore avec celles du potentiel dû à un courant.

Ces considérations montrent bien que l'on doit tenir compte de la perméabilité du milieu environnant lorsqu'on considère le potentiel dû à un aimant, tandis qu'au contraire cette perméabilité n'a aucun effet sur la valeur du potentiel dû à un courant. Si l'on rapproche cette dernière conclusion de celle qu'énonçait le Dr Lodge en 1882, on voit que le moment magnétique d'un courant et le potentiel magnétique dû à ce courant doivent être indépendants de la perméabilité du milieu environnant.

Or si l'on adopte les idées d'Ampère sur la constitution des aimants, il semble bien que, ainsi que le faisait remarquer Clausius, la perméabilité du milieu environnant doive avoir la même influence sur la valeur du potentiel magnétique d'un courant et celle du potentiel magnétique d'un aimant. Comment dès lors expliquer que la considération des dimensions de ce potentiel conduise à considérer l'égalité (5) comme générale et à remplacer l'égalité (4) par l'égalité (10)? Voici ce que dit l'auteur à ce propos :

Digitized by Google

« Dans l'*air*, on peut déduire le potentiel dû à un courant du principe de l'équivalence d'un circuit fermé et d'un feuillet de la façon suivante : Supposons le circuit remplacé par un feuillet formé d'aimants élémentaires ayant leurs axes perpendiculaires aux faces des feuillets. Si r et r' sont les distances d'un point P aux deux pôles d'un de ces aimants élémentaires, l la longueur de cet aimant et $+ dm$ et $- dm$ les masses magnétiques des pôles, le potentiel magnétique en P, dû à cet aimant, est

$$dV = \frac{dm}{r} - \frac{dm}{r'}. \qquad (12)$$

« Si la longueur de l'aimant est petite par rapport aux distances r et r', on peut remplacer r' par $r + l \cos \alpha$, α étant l'angle de la direction de l'axe de l'aimant avec celle de la droite qui joint le milieu de cet aimant au point P. On a alors

$$dV = dm\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r + l\cos\alpha}\right),$$

ou, approximativement,

$$dV = \frac{l\,dm\cos\alpha}{r^2}. \qquad (13)$$

Mais de l'équivalence d'un courant et d'un feuillet dans l'air, on déduit

$$l\,dm = I\,dA \qquad (14)$$

dA désignant l'aire polaire d'un aimant élémentaire. Faisant cette substitution dans (13) et remarquant que

$$\frac{dA\cos\alpha}{r^2} = d\Omega,$$

$d\Omega$ étant l'angle solide sous lequel on voit de P la surface polaire, nous avons

$$dV = I\,d\Omega \quad \text{et} \quad V = I\Omega. \qquad (15)$$

« Pour un *milieu autre que l'air*, les équation (12), (13) et (14) cessent d'être exactes, mais les équations (15) demeurent correctes. Si μ_1 est la perméabilité de l'espace *extérieur* à l'espace occupé par le feuillet magnétique équivalent au courant, nous aurons, au lieu de (12) et (13).

$$dV = \frac{dm}{\mu_1 r} - \frac{dm}{\mu_1 r'} = \frac{1}{\mu_1}\frac{l\,dm\cos\alpha}{r^2}. \qquad (16)$$

« Si μ_2 est la perméabilité de l'espace *intérieur*, c'est-à-dire de l'espace occupé par le feuillet équivalent, nous aurons, au lieu de (14),

$$l\,dm = \mu_2\, I\,dA. \qquad (17)$$

En substituant dans (16) nous obtenons,

$$dV = \frac{\mu_2}{\mu_1}\frac{I\,dA\cos\alpha}{r^2} = \frac{\mu_2}{\mu_1} I\,d\Omega, \qquad (18)$$

et, par suite,

$$V = \frac{\mu_2}{\mu_1}\Omega. \qquad (19)$$

« Telle est l'expression du potentiel magnétique en P dû à un courant d'intensité I, parcourant un circuit vu du point P sous un angle solide Ω, quand μ_2 est la perméabilité de l'espace occupé par un feuillet hypothétique équivalent et μ_1 la perméabilité de l'espace environnant.

« Ordinairement on a $\mu_2 = \mu_1$; par conséquent, dans un milieu isotrope, le potentiel magnétique dû à un courant en

$$V = I\Omega, \qquad (20)$$

c'est-à-dire, indépendant de la perméabilité de ce milieu. »

J. B.

Détermination de la conductibilité électrique de diverses solutions salines, par Albert C. Mac Grégory (1).

L'appareil employé diffère suivant la concentration de la solution étudiée.

Pour celles dont la concentration était comprise entre $m = 0{,}0001$ et $m = 0{,}01$ (m désignant le nombre de gramme-équivalent par litre de solution), l'auteur prenait un vase de verre de 8 cm. de diamètre et de 13 cm. de hauteur, fermé par un couvercle en ébonite percé de trois trous. Le trou central livrait passage à un thermomètre divisé en $0°,2$ et permettant d'apprécier $0°,02$. Les deux autres servaient à faire passer deux gros fils de cuivre auxquels étaient soudés des fils de platine sou-

(1) *Physical Review*, t. II, p. 361 à 373. Mars-avril 1895.

Digitized by Google

tenant deux feuilles épaisses de platine de 40 mm.² de surface servant d'électrodes. Le vase de verre contenait normalement 500 cm³. de solution et les électrodes se trouvaient alors à 2 cm. environ au-dessous de la surface du liquide. Le réservoir du thermomètre se trouvait au niveau des électrodes ; le vase était entouré d'une épaisse couche de feutre le protégeant contre les causes extérieures d'échauffement ou de refroidissement.

Pour les solutions plus concentrées (de $m =$ 0,01 à $m = 1$), l'auteur se servait de deux petits flacons contenant les électrodes et réunis par un tube de verre de 6 mm. de diamètre ; ces flacons étaient plongés dans un même bain dont la température était donnée par un thermomètre sensible ; des précautions étaient prises pour que, malgré l'échauffement de la solution par le passage du courant, la température de cette solution soit bien celle du bain au moment des mesures.

Les résistances étaient comparées au moyen d'un pont à fil de Kohlrausch. Le fil ainsi que les résistances auxiliaires employées (ordinairement une bobine de 100 ohms ou de 1.000 ohms) étaient soigneusement calibrés.

La détermination de la résistance que l'on aurait entre les électrodes si les appareils étaient remplis de mercure s'effectuait en mesurant la résistance que l'on avait en remplissant les appareils de solutions dont la conductibilité spécifique est connue. Ces solutions étaient des solutions de chlorure de sodium et de potassium, étudiées auparavant par Kohlrausch. En prenant trois solutions de chacun de ces sels pour lesquelles on avait respectivement $m = 0{,}05$, $m = 0{,}02$ et $m = 0{,}01$, l'auteur a trouvé pour le premier appareil, six nombres différant entre eux de moins de 1/200, et dont la moyenne est 1.073×10^{-6} ohms. En opérant avec des solutions de concentration $m = 1{,}0{,}5$, $0{,}1$, il a trouvé $1.651{,}7 \times 10^{-6}$ ohms pour la résistance du second appareil.

Pour préparer les solutions, en général on dissolvait dans l'eau un poids déterminé du sel ; mais quand ce procédé n'était pas applicable on faisait une dissolution de concentration quelconque et on l'étendait jusqu'à ce que sa densité corresponde à la concentration avec laquelle on voulait opérer. Les tables de Kohlrausch donnant la densité d'un grand nombre de solutions de diverses concentrations, ce second procédé, plus commode que le premier, pouvait être appliqué dans beaucoup de cas. Les solutions de concentration comprises entre $m = 0{,}5$ et $m = 0{,}05$ étaient obtenues en diluant convenablement une portion de la solution normale ($m = 1$). Pour obtenir des solutions très étendues, l'auteur remplissait de 500 cm³. d'eau pure le premier appareil, mesurait la résistance, puis prélevait avec une pipette 9,5 cm³. d'eau. Il ajoutait alors successivement 0,5 cm³, 0,5 cm³, 2 cm³. et 2 cm³. de la solution $m = 0{,}1$ et mesurait la résistance après chaque addition. Il ajoutait ensuite des volumes égaux aux précédents de la solution $m = 1$ et obtenait facilement de la sorte huit degrés de dilution compris entre $m = 0{,}0001$ de $m = 0{,}05$. Toutefois ce procédé avait l'inconvénient de modifier le volume du liquide contenu dans le récipient et, par conséquent, la résistance comprise entre les électrodes ; mais comme Kohlrausch avait déterminé la résistance en mercure du même appareil pour diverses valeurs du volume occupé par la solution l'auteur n'eut qu'à se servir de ces résultats.

En prenant quelques précautions il parvint à maintenir la température à 18° à moins de 0°,02 pendant toutes les mesures ; cette température de 18° était celle pour laquelle Kohlrausch avait déterminé la conductibilité spécifique du chlorure de sodium et du chlorure de potassium qui, comme nous l'avons dit, servaient à la détermination de l'appareil supposé rempli de mercure.

Les expériences ont porté sur le sulfate, le chlorure, l'azotate et l'acétate de calcium, le chlorure, l'azotate et l'acétate de baryum, l'acétate d'argent et l'oxalate de potassium. Les solutions normales de l'azotate et de l'acétate de calcium, celle du chlorure de strontium et celle de l'acétate de baryum étaient pré-

Digitized by Google

parées en utilisant les tables de Kohlrausch donnant la concentration en fonction de la densité. Les solutions normales des autres sels s'obtenaient en pesant des poids de ces sels desséchés, exprimés en grammes par leurs équivalents, et en dissolvant ces poids dans un litre d'eau. L'eau employée était distillée trois fois ; sa conductibilité était en moyenne 100×10^{-10}.

Deux tables numériques indiquent les résultats obtenus par l'auteur. La première donne la conductibilité k de chaque solution pour diverses valeurs de m ; la seconde donne pour ces valeurs de m la conductibilité moléculaire $\frac{k}{m}$. Elles montrent que la conductibilité k croît régulièrement à mesure que la concentration augmente, tandis que la conductibilité moléculaire $\frac{k}{m}$ décroît alors.

L'auteur donne également les courbes obtenues en portant la conductibilité moléculaire en ordonnées et les valeurs correspondantes de $\sqrt{m}$ en abscisses. Ces courbes sont, pour la plupart, tout à fait régulières et ne montrent, même dans les parties correspondantes aux grandes dilutions, aucune tendance à changer de sens de courbure. Les courbes relatives aux acétates de calcium, de strontium et de baryum sont presque parallèles, les deux dernières se confondant presque. Celles des azotates de calcium et de strontium sont aussi sensiblement parallèles ; celles des chlorures de calcium et de strontium sont presques confondues sur toute leur longueur. La forme générale de ces diverses courbes se rapproche d'une droite.

L'acétate d'argent fut l'objet de trois séries de mesures ; les courbes représentatives avaient leur concavité tantôt tournée vers le bas, tantôt vers le haut. Ce changement dans le sens de la courbure, qui est caractéristique des acides et des bases libres, n'a encore jamais été observé avec les sels.

Enfin l'auteur a déterminé la variation de conductibilité avec la température des solutions normales (sauf avec le sulfate de calcium dont la faible solubilité ne permettait pas d'obtenir des solutions de concentration supérieure à $m = 0{,}01$). Les nombres qu'il a trouvés pour le coefficient de variation $\frac{\delta k}{k}$ pour une température voisine de 18° sont donnés dans le tableau suivant.

COEFFICIENT DE VARIATION DE LA CONDUCTIBILITÉ AVEC LA TEMPÉRATURE

SELS	$\frac{\Delta k}{k}$
Sulfate de calcium ($m = 0{,}01$)	0,023
Chlorure de calcium ($m = 1$).	0,0218
Azotate de calcium	0,0219
Acétate de calcium	0,023
Chlorure de strontium	0,0212
Azotate de strontium.	0,0224
Acétate de baryum.	0,022
Oxalate de potassium	0,0209

On voit que le coefficient de température a sensiblement la même valeur pour tous ces sels.

J. B.

Quelques expériences avec des courants alternatifs, par Albert Griffiths (1).

Dans cette note l'auteur décrit quelques expériences intéressantes sur les effets produits par un courant alternatif passant dans la ou les bobines d'un galvanomètre.

Déjà, en 1874, le Dr Schuster (2) avait constaté que si l'on lance dans le circuit d'un galvanomètre un courant alternatif et un courant constant, la déviation de l'aiguille est plus grande qu'avec le courant constant seul, bien que l'intensité moyenne du courant alternatif soit nulle. L'auteur a vérifié ce fait. Il prenait comme source de courant alternatif une bobine d'induction dont l'interrupteur était constitué par un diapason faisant 128 vibrations complètes par seconde. Le galvanomètre employé était un galvanomètre d'Edelmann à deux

(1) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 229-236, mars 1895.

(2) Schuster. *Phil. Mag.*, t. XLVIII, p. 340.

Digitized by Google

paires de bobines qui peuvent être placées à diverses distances de l'aiguille et qui peuvent tourner autour d'un axe vertical passant par le centre de l'aiguille. Cette aiguille consistait en un anneau d'acier suspendu de manière à ce que son plan soit vertical.

L'explication complète de ce phénomène a été donnée par Chrystal (1), en 1876. Elle repose sur cette hypothèse, très certainement correcte d'après l'auteur, que l'aimantation d'une aiguille d'acier varie sous l'influence d'une variation du champ magnétique dans lequel elle est placée, quelque petite que soit cette dernière variation, et que la variation d'aimantation se produit principalement dans la direction de l'axe magnétique primitif. Or, en examinant les effets du champ créé par les bobines sur l'aiguille supposée déviée de sa position d'équilibre, on trouve que les courants qui tendent à augmenter la déviation de l'aiguille, produisent un accroissement de l'aimantation de cette aiguille, tandis que ceux qui tendent à diminuer la déviation, produisent une diminution de l'aimantation. Par conséquent, si l'on superpose un courant alternatif à un courant constant, les courants tendant à accroître la déviation produiront une impulsion plus grande que les courants de sens opposé, et la déviation angulaire de l'aiguille produite par le courant constant se trouvera accrue.

Comme la variation de l'aimantation de l'aiguille est sensiblement proportionnelle à l'intensité du courant alternatif et que l'action de ce courant sur l'aiguille varie proportionnellement au produit de la variation de l'aimantation par l'intensité, il résulte de l'explication de Chrystal que l'effet du courant alternatif doit être proportionnel au carré de l'intensité. C'est ce que l'auteur a vérifié indirectement en employant toujours le même courant alternatif, mais en plaçant successivement les bobines du galvanomètre à diverses distances de l'aiguille, la sensibilité du galvanomètre ayant été préalablement déterminée pour chacune des positions des bobines avec un courant constant.

Une autre conséquence de l'explication de Chrystal est que, si l'aiguille est formée par un corps de révolution autour de l'axe de suspension, l'augmentation de déviation produite par un courant alternatif doit être la même, quel que soit le sens de la déviation primitive de l'axe magnétique de l'aiguille produite par le courant constant, pourvu que cette déviation ait la même valeur absolue. Pour vérifier cette conséquence, l'auteur prit pour aiguille une sphère d'acier. A sa grande surprise, il trouva que pour une orientation de l'axe magnétique dans un certain sens par rapport au plan de symétrie du galvanomètre, le courant alternatif *augmentait* la déviation et que, pour une orientation dans le sens opposé, la déviation *diminuait*. Ayant repris l'aiguille en forme d'anneau, il observa le même fait et constata que, si on suspendait l'anneau de manière que la partie de l'anneau primitivement située en haut vienne en bas, l'effet du courant alternatif se trouvait renversé, c'est-à-dire qu'il y avait alors augmentation de la déviation pour l'orientation de l'axe magnétique à laquelle correspondait auparavant une diminution. Tout d'abord, M. Griffiths ne trouva pas d'explication à cette particularité ; il croit cependant qu'on peut adopter la suivante : Chrystal admet que la variation d'aimantation produite par le courant alternatif se manifeste principalement suivant la direction de l'axe magnétique qu'il est naturel de considérer comme celle qui offre le moins de difficulté à la magnétisation. Mais, par suite de quelque défaut dans l'homogénéité ou dans la forme géométrique d'une aiguille de révolution, il peut se faire que la direction de plus facile aimantation ne coïncide pas avec celle de l'axe magnétique. Or, c'est en réalité la direction de l'axe de plus facile aimantation qui est accrue par le courant alternatif et non celle de l'axe magnétique. Si nous supposons que ces deux directions forment un angle α inférieur à l'angle de déviation, l'axe de facile aimantation reste

(1) CHRYSTAL. *Phil. Mag.*, t. II, p. 401.

Digitized by Google

du même côté du plan de symétrie du galvanomètre, quel que soit le sens de la déviation. Par conséquent, cet axe est dévié toujours dans le même sens sous l'influence du courant alternatif, et cette déviation vient s'ajouter ou se retrancher de la déviation primitive de l'axe magnétique suivant le sens de celle-ci. Le phénomène observé n'est donc pas incompatible avec l'hypothèse de Chrystal ; il suffit de la modifier légèrement.

A propos de ce phénomène, l'auteur fit quelques expériences qui montrent l'influence des courants de Foucault. Ayant remplacé l'anneau d'acier par un anneau de cuivre suspendu verticalement, il constata que cet anneau déviait sous l'action d'un courant alternatif, et que cette déviation était d'autant plus grande que les deux cylindres de cuivre creux, qui servaient d'amortisseurs à l'aiguille du galvanomètre, étaient plus près de l'anneau. Cette déviation ne peut être attribuée qu'aux actions réciproques des courants traversant les bobines et des courants induits de phases différentes qui prennent naissance dans l'anneau et dans les cylindres. Ce qui le prouve bien, c'est que, si l'on coupe l'anneau, l'action du courant alternatif devient négligeable.

Ces dernières expériences pouvaient faire craindre que dans celles où l'on employait un anneau d'acier, les courants de Foucault n'aient une part importante dans les phénomènes observés. Mais en prenant un anneau d'acier coupé, l'auteur trouva que l'effet d'un courant alternatif n'était pas beaucoup moindre qu'avec un anneau complètement fermé.

Dans les diverses expériences qui précèdent, l'auteur avait constaté quelques légères irrégularités qu'il attribua à des changements du courant alternatif provenant d'irrégularités dans la fermeture et la rupture du courant inducteur, lesquelles étaient produites par une pointe de platine oscillant au-dessus d'un bain de mercure recouvert d'alcool méthylique. Il essaya de faire disparaître ces irrégularités en mettant une résistance ou un condensateur en dérivation sur le circuit des étincelles ou encore en employant un mode particulier d'enroulement différentiel décrit par S.-P. Thomson dans *The Electromagnet and Electromagnet Mechanism*. Ces procédés ne réussirent que partiellement, mais il obtint d'excellents résultats par un procédé non encore signalé et qui consiste à placer une série d'éléments de pile en dérivation sur le trajet des étincelles. Ces éléments étaient formés de deux lames de platine plongeant dans de l'acide sulfurique concentré ou étendu ; les larmes de platine peuvent d'ailleurs être remplacées par des lames de plomb. Quand un courant les traverse, ces éléments se polarisent et produisent entre les points où jaillissent les étincelles, une f. é. m. de sens opposé à celle de la pile fournissant le courant inducteur, de sorte que ce courant diminue rapidement d'intensité, une partie de son énergie étant employée à décomposer le liquide et à produire, par suite, un travail chimique.

J. B.

La sirène électrique de M. Pellat.

Dans la séance de la Société de Physique du 5 janvier 1895, M. Pellat présentait la sirène que représente la figure ci-dessous.

Cette sirène construite sur ses indications par M. Ducretet, diffère de la sirène de Cagniard de la Tour par les deux points suivants :

1° Les trous des plateaux ont une direction normale à ceux-ci ; 2° la rotation du disque D' est obtenue par un moteur électrique. Pour cela, sur l'axe du disque tournant est disposé un petit anneau Gramme placé entre les mâchoires d'un électro-aimant ; le système est monté en dérivation, et le courant est fourni par trois accumulateurs en tension. Aucune résistance supplémentaire n'est introduite dans le circuit inducteur ; mais des résistances auxiliaires sont placées dans le circuit de l'anneau, au moyen d'un rhéostat continu. On peut ainsi faire varier à volonté la vitesse de rotation, l'amener très rapidement à une valeur fixe, et il en est de même, par conséquent, de la hauteur du son rendu par la sirène.

Digitized by Google

Cet instrument présente les avantages suivants : 1° l'unisson du son étudié s'obtient bien plus aisément qu'avec les sirènes ordinaires et se maintient pendant longtemps; 2° les qualités du son, hauteur et intensité sont rendues indépendantes ; on peut obtenir des sons graves intenses ou des sons aigus faibles, ce que ne permet pas la sirène de Cagniard de la Tour ; 3° les sons graves sont aussi purs

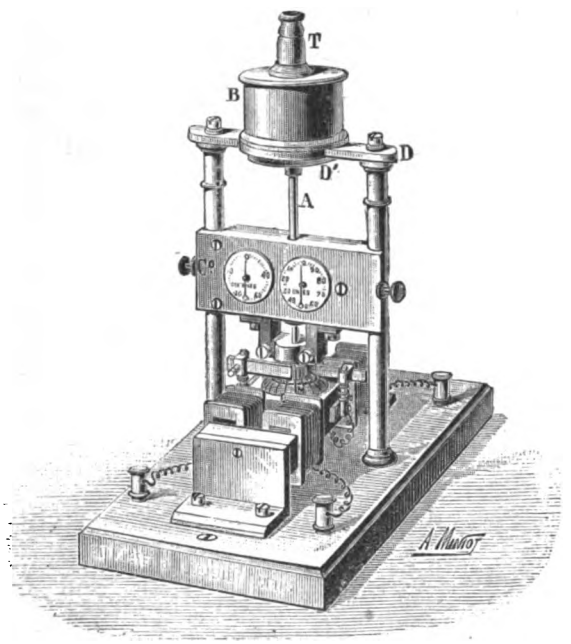


Fig. 1.

que les sons aigus, ce qui n'a pas lieu dans la sirène ordinaire ; 4° on peut interrompre le courant d'air, pour cesser de faire parler la sirène, sans modifier la hauteur du son rendu quand l'air est insufflé à nouveau.

A la suite de cette communication, M. Arnoux faisait remarquer qu'on obtiendrait sans doute encore plus de fixité dans la hauteur du son par l'addition, sur l'axe de rotation, d'un disque de cuivre rouge tournant dans un champ magnétique. MM. Ducretet et Lejeune construisent actuellement un nouveau modèle où l'observation de M. Arnoux est mise à profit.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Le premier chemin de fer électrique en France. — Nos lecteurs savent que les expériences qui ont été faites il y a un an avec la locomotive électrique Heilmann, entre le Havre et Beuzeville d'abord puis sur la ligne de Paris à Mantes par Argenteuil, ont encouragé la Compagnie de l'Ouest à faire construire deux nouvelles locomotives de 1.500 chevaux qui seront du reste prochainement terminées.

Nous apprenons aujourd'hui par le *Petit Parisien* que la Compagnie vient de concéder à la Société Heilmann la traction électrique par conducteur sur la ligne de Saint-Germain-Ouest à Saint-Germain-Grande-Ceinture.

Étant donnés les progrès qu'a faits depuis quelques années la traction électrique surtout aux États-Unis, en Angleterre, en Allemagne, en France aussi, où notamment, à Clermont-Ferrand d'abord, puis à Lyon, à Bordeaux, à Marseille, au Havre et à Paris, des tramways mus électriquement, mais d'une faible puissance relative, ont donné d'excellents résultats, il était hautement intéressant de se rendre compte des conditions de fonctionnement technique et économique des divers modes de traction.

Aussi, la Compagnie de l'Ouest et la Société de Traction électrique, qui ne sont inféodées à aucun système et qui cherchent depuis longtemps déjà à résoudre le problème de la traction sur lignes suburbaines à trafic intense et peut-être aussi sur notre futur Métropolitain, se proposent-elles de faire des applications en grand. Nous croyons savoir que peu à peu différents essais seront tentés dans cet ordre d'idées sur divers points du réseau de l'Ouest, probablement d'abord sur la ligne du Champ de Mars et sur celle d'Auteuil, qui sont appelées, comme l'on sait, à jouer un rôle capital lors de la prochaine Exposition de 1900.

La ligne nouvelle qui va être exploitée électriquement a 4 kilomètres de double voie entièrement neuve. Elle forme un demi-cercle assez régulier et traverse en courbe l'extrémité sud de la forêt. A Saint-Germain-Ouest se trouve installée une usine génératrice de 800 à 1,000 chevaux.

Digitized by Google

Deux locomotives, de 400 chevaux environ chacune, remorqueront des trains de huit à dix voitures, à des vitesses pouvant aller jusqu'à *quatre-vingt-dix* kilomètres à l'heure.

Le courant est amené par un rail central. Placé sur le sol tout le long de la voie, ce conducteur est aérien dans toutes les stations. La communication entre le rail en question et la locomotive se fait par l'intermédiaire d'un simple frotteur.

Bien que les machines — de vrais appareils de précision —soient fort longues à construire et exigent des soins d'ajustage très minutieux, il est probable qu'elles seront faites pour l'automne prochain. Quant aux travaux d'aménagement de la ligne et d'installation de l'usine, ils sont déjà commencés.

Avant la fin de l'année nous pourrons donc voir fonctionner la première ligne de chemin de fer électrique à voie normale et à voyageurs qui existe en France.

N'oublions pas, en effet, qu'il ne s'agit plus ici d'un tramway électrique urbain ordinaire mais bien de l'exploitation d'une ligne de chemin de fer par des locomotives électriques puissantes — 400 chevaux — pesant une trentaine de tonnes et pouvant remorquer à une très haute vitesse des trains de cinq à six cents voyageurs.

Nous faisons des vœux pour le succès de ces belles et utiles tentatives.

Il est permis de saluer dès à présent l'aurore d'un futur réseau électrique auquel la ligne de Saint-Germain servira de berceau, comme elle fut d'ailleurs celui des chemins de fer français, il y a de cela bientôt cinquante-huit ans.

Châteauroux. — Une première installation d'éclairage électrique de quelque importance vient d'être établie à Châteauroux par un constructeur local, M. Hidien. Deux machines à vapeur de 25 chevaux actionnent les dynamos qui alimentent 32 lampes à arc et 80 lampes à incandescence.

Cette première installation ayant obtenu un succès complet, plusieurs villes du département sont entrées en pourparlers avec M. Hidien pour l'éclairage public. En ce qui concerne Châteauroux, la question se pose de savoir si cette ville, qui s'est engagée à nouveau en 1880, pour une période qui n'expirera qu'en 1912, pour l'éclairage au gaz, a le droit d'appliquer l'électricité à l'éclairage public.

Limoges. — Le cahier des charges relatif à l'éclairage électrique du secteur concédé à M. Rougerie contient, entre autres dispositions, les suivantes :

Durée et mode de l'autorisation : Aux termes de l'article 17, l'autorisation est accordée jusqu'au 31 décembre 1930, à partir de la notification de la décision approbative, *sans monopole*, la ville se réservant le droit absolu d'accorder d'autres autorisations du même genre. Cependant, les demandes nouvelles de concession, en ce qui concerne le secteur que nous avons fait connaître, ne pourront être accueillies que si elles contiennent des conditions plus avantageuses.

Prix de l'éclairage : Le prix maximum de l'éclairage est fixé à 0,08 c. l'hectowatt-heure au compteur. A forfait, l'éclairage sera fourni aux conditions suivantes :

36 fr. par an pour une lampe de 16 bougies de la nuit à 10 heures.

50 fr. par an pour une lampe de 16 bougies de la nuit à 2 heures.

24 fr. par an pour une lampe de 10 bougies de la nuit à 10 heures.

33 fr. par an pour une lampe de 10 bougies de la nuit à 2 heures.

15 fr. par an pour une lampe de 5 bougies de la nuit à 10 heures.

20 fr. par an pour une lampe de 5 bougies de la nuit à 2 heures.

La consommation de jour sera fournie au compteur seulement au prix de 0,05 c. l'hectowatt-heure.

La ville se réserve la faculté d'abaisser les prix maxima ci-dessus fixés, tous les cinq ans, à dater de la notification de l'approbation par le préfet de l'autorisation accordée.

Le permissionnaire, dans l'étendue du réseau à lui concédé, fournira, sur la demande de la ville, pour l'éclairage public, de la lumière électrique au tarif maximum de 0 fr. 05 l'hectowatt-heure.

Il devra également, si la ville lui en fait la demande, assurer l'éclairage électrique des établissements municipaux et départementaux aux mêmes conditions.

Autres obligations du permissionnaire. — Aux termes de l'article 27, le permissionnaire paiera trimestriellement à la ville pendant toute la durée de l'autorisation, une redevance de 10 francs par an pour chaque kilomètre ou fraction de kilomètre de conduite aérienne ou souterraine.

Dans le cas où l'électricité serait produite dans

Digitized by Google

une usine hors de Limoges le permissionnaire versera 0 fr. 15 par 100 kilos de charbon consommé.

Nevers. — En 1890, MM. Pécard frères, avaient été autorisés par la municipalité de Nevers à placer dans les rues des conducteurs aériens pour leur usine électrique.

La Compagnie du gaz, prétendant avoir le monopole de l'éclairage de la ville, intenta une action devant le conseil de préfecture en suppression de ces conduites, sous réserve des dommages-intérêts de droit.

Renvoyée de sa demande par le conseil de préfecture de la Nièvre, la Compagnie forma un pourvoi devant le Conseil d'État, qui depuis un an a rendu nombre d'arrêts sur la matière.

L'arrêt du conseil de préfecture est annulé et une expertise est ordonnée pour fixer le préjudice causé à la Compagnie par l'autorisation accordée à MM. Pécard.

L'arrêt du Conseil d'État se base sur cette circonstance que la Compagnie du gaz de Nevers est pourvue du monopole exclusif de l'éclairage de la ville; ce privilège, que la Compagnie possède en vertu de la prorogation de sa concession pour une durée de vingt ans, à partir du 1er juillet 1900, ne veut pas dire que la ville soit destinée à être exclusivement éclairée par le système en usage jusqu'à présent.

En effet, l'article 43 du traité est ainsi conçu :

« Art. 43. — Si la science parvenait à découvrir un système d'éclairage ou de fabrication plus économique que celui actuellement usité, la Compagnie serait tenue de l'employer, pourvu que le nouveau système ait été adopté et appliqué depuis *deux ans* révolus dans deux villes de France de *vingt mille habitants* ou plus. »

Par conséquent, Nevers peut donc parfaitement obtenir un autre éclairage.

Mais le privilège de fournir cet éclairage, quel qu'il soit, appartient exclusivement jusqu'en l'an 1920 à la Compagnie du gaz.

L'éclairage électrique va, quant à présent, disparaître de cette ville, à moins que la Compagnie du gaz ne se substitue à l'installation actuelle.

Saintes. — Les ateliers des chemins de fer de l'État, à Saintes, vont bientôt resplendir de lumière. Mais pour une chose aussi neuve que l'éclairage électrique, nos hardis ingénieurs ont cru devoir faire tout d'abord des essais. Bien leur en a pris, car, paraît-il, le résultat de ces essais n'a pas été des plus satisfaisants. On n'en est encore, nous dit la presse locale, qu'à la période de tâtonnements.

Espérons qu'après avoir bien tâtonné les ingénieurs des chemins de fer de l'État, trouveront l'éclairage électrique assez pratique pour l'appliquer à Saintes.

Versailles. — M. Couturier, constructeur à Versailles, a été autorisé à établir un réseau d'éclairage électrique d'intérêt privé dans les propriétés situées rue de la Paroisse, sous la réserve que la canalisation serait établie par voie aérienne sur les toitures, à l'exclusion des façades sur la rue de la Paroisse. Ce réseau est en voie d'exécution. M. Couturier fournira également l'énergie électrique pour l'éclairage de l'église Notre-Dame, jusqu'au jour où une compagnie concessionnaire de l'éclairage général par l'électricité sera en mesure de le faire.

La force motrice sera fournie, croyons-nous, par un moteur à gaz.

CHAMBRE SYNDICALE
DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES

Réunion du mardi 19 mars 1895. — Présidence de M. Harlé.

L'ordre du jour appelle la nomination du Bureau qui est ainsi constitué :

Président : M. Harlé.

Vice-Présidents : MM. Meyer, Vivarez, Sartiaux.

Secrétaires : MM. Bernheim, Roux.

Trésorier : M. Radiguet.

Après l'élection de quelques nouveaux membres, le Président dépose sur le bureau l'avis d'une adjudication qui aura lieu le 5 avril pour une fourniture d'appareils Baudot en 8 lots.

Le Président donne lecture de deux lettres de M. Kern, Secrétaire de la Commission de surveillance de l'École Diderot. Il rappelle que l'année dernière, après bien des pourparlers et grâce au dévouement de M. Sciama, on était arrivé à se mettre d'accord sur la nomination d'un contremaître pour diriger l'enseignement professionnel de l'Électricité. Or, actuellement, la Commission de surveillance de l'École Diderot, au lieu de sanctionner les dispositions préparées par M. Sciama au nom de la Chambre, avise qu'une Commision est nommée pour faire un choix définitif. Dans ces

Digitized by Google

conditions, la question se pose de savoir si la Chambre veut suivre la Commission de surveillance dans cette voie et nommer les deux membres que M. Kern prie de désigner.

Après un échange de vues entre les différents membres de la Chambre, on reconnaît qu'il est impossible en ce moment de s'abstenir.

La Chambre désigne MM. Mildé et Hillairet pour la représenter dans cette Commission.

Le Président donne lecture à la Chambre du traité qu'il a passé avec M. Roux pour lui confier la direction du Bureau de Contrôle, ainsi qu'il y avait été autorisé par la Chambre, dans sa séance du 5 février 1895.

Le traité est signé par MM. Harlé et Roux; il est contresigné par plusieurs membres de la Chambre. Le Président a reçu une lettre de M. Sernin au sujet d'une demande de renseignements que fait la Chambre de Commerce de Beauvais à l'instigation de la Chambre de Commerce française de Milan. Cette demande conçue en termes très vagues, a trait aux modifications à apporter aux tarifs des droits d'entrée en Italie.

La Chambre ne peut répondre utilement, elle fait d'ailleurs partie de la circonscription de la Chambre de Commerce de Paris et aurait besoin de renseignements plus précis pour étudier la question.

Le Président croit qu'il serait bon de nommer une Commission qui serait chargée spécialement d'étudier les affaires contentieuses et administratives qui lui seraient renvoyées. Un grand nombre d'adhérents demandent des renseignements, et le Président seul ne peut suffire à la tâche.

Il ajoute qu'il serait bon également de nommer une Commission qui s'occuperait des questions relatives à l'enseignement professionnel.

M. Bernheim demande la nomination d'une Commission des douanes. Constamment les industriels ont des difficultés avec la douane au sujet d'importations ou de matériel revenant de l'Étranger pour être réparé. Il serait bon d'étudier cette question de près, et de faire des tableaux de renseignements qui seraient remis aux différents bureaux de douane.

Ces propositions sont adoptées et les Commissions sont composées comme suit:

1° Pour les affaires contentieuses et administratives :

MM. Clémançon, de Loménie, Picou, Portevin, Meyer, Roux, Sartiaux, Vivarez.

2° Pour l'enseignement professionel:

MM. Bancelin, Cance, Ducretet, Hillairet, Mildé, Sarcia, Violet.

3° Pour les douanes :

MM. Bénard, Ducretet, Hillairet, Radiguet, Triquet, Violet.

Le Président entretien la Chambre de la question du rattachement et de l'association à un des groupements de syndicats déjà fondés.

Il rappelle les raisons qui ont fait quitter le Syndicat général, et celles qui lui paraissent devoir nous faire entrer actuellement dans un de ces groupements.

Il est entendu que cette question sera portée à l'ordre du jour de la prochaine séance.

L'acier au bore. — MM. Moissan et Charpy ont obtenu un acier dans lequel le bore, à la dose de 0,07 p. 100, remplace le carbone. D'après les essais par la méthode de refroidissement, ces savants concluent que le bore communique au fer la propriété de prendre la trempe, mais une trempe spéciale correspondant à une élévation de la charge de rupture, sans augmentation sensible de la dureté. Son rôle est donc nettement distinct de celui du carbone.

Le carbure de calcium dans l'industrie. — Après l'Electric Gaz Company, des Etats-Unis, et la Société Carbid, de Berlin, voici la Société de l'aluminium de Neuhausen (Suisse) qui annonce à son tour qu'elle se livre à son tour à la fabrication en grand du carbure de calcium. La force motrice hydraulique considérable dont dispose cette Société lui permettra de produire à un prix abordable cette matière première pour la fabrication de l'acétylène.

La consommation de platine. — Suivant *Industries and Iron* on emploie annuellement en Amérique environ trois tonnes de platine dans la fabrication des lampes à incandescence, tandis qu'une tonne entre dans la confection des « dents artificielles ». A-t-on eu tort de prétendre que les cimetières américains constitueront pour les générations futures des mines de métaux précieux?

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Digitized by Google

Tome III. Samedi 27 Avril 1895. 2e Année. — N° 17.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LES APPLICATIONS MÉTALLURGIQUES DU FOUR ÉLECTRIQUE (1)

Nous conservons avec le plus grand soin ces curieuses collections de haches en silex, ces pointes de flèche et ces aiguilles taillées si délicatement dans l'os du renne, qui sont le lointain témoignage de l'industrie de nos aïeux. En les examinant, on comprend quel immense service a rendu à l'humanité le chercheur qui a isolé le premier corps métallique. Découvrir un métal qui peut s'obtenir en lames plus ou moins minces, qui possède en même temps la dureté et l'élasticité, c'était augmenter la force et la puissance de l'homme en présence de toutes les difficultés suscitées par la nature. Nous comprenons si bien cette importance, que nous caractérisons toute une époque de la vie de l'humanité par le nom de tel ou tel métal. Si l'âge du cuivre et l'âge du bronze sont déjà bien loin de nous, on peut reconnaître que ce merveilleux métal, qui s'appelle le fer, nous rend des services qui grandissent sans cesse. Que de résultats obtenus dans cet art de travailler le fer ! Et parmi tous ceux-ci, nous rencontrons la plus étonnante découverte industrielle du siècle, celle du convertisseur Bessemer.

Le fer, auparavant, n'était qu'un métal rapproché sous le marteau-pilon ; Bessemer a pu, en quinze minutes, en préparer vingt tonnes et le transformer en un acier qui, de suite, peut être mis en œuvre. Cette découverte a permis de créer le puissant outillage de l'industrie moderne.

Dans cette belle fabrication de l'acier, les réactions qui se passent dans le convertisseur produisent la chaleur au milieu même de cette immense cornue qui renferme la fonte en fusion. La température obtenue dans ces circonstances est voisine de 1 700° ainsi que l'a établi M. Lechatelier. C'est à peu près la température du four Martin-Siemens. Nous pourrions dire que c'est la limite extrême des hautes températures atteintes par l'industrie.

Dans le laboratoire, un instrument bien simple, le chalumeau à oxygène de Deville et Debray, nous a permis d'arriver avec facilité à la température de fusion du platine qui, d'après les belles recherches de M. Violle, est de 1 775°.

Il y a quelques années seulement, le maximum calorifique que l'on pouvait atteindre dans l'industrie était donc de 1 700°, et dans le laboratoire de 1 900 à 2 000°.

On savait bien, cependant, d'après les recherches de Desprez et d'autres savants, que l'arc électrique pouvait fournir des phéno-

(1) Discours prononcé à la séance générale du Congrès des Sociétés savantes, le samedi 20 avril 1895.

Digitized by Google

mènes calorifiques beaucoup plus intenses, mais les expériences à exécuter dans cette voie étaient délicates, difficiles, dangereuses même ; elles ne furent pas poursuivies.

Au moment où l'électricité a pris cette brillante expansion, qui n'est encore qu'à son début et qui nous réserve bien d'autres surprises, les esprits furent attirés de nouveau vers les applications de cette belle partie de la science. Les perfectionnements successifs des machines dynamo-électriques vinrent modifier considérablement la production du courant. On comprend que, dès cette époque, quelques applications soient apparues dans cette voie. On put souder les métaux au moyen de la chaleur de l'arc ; on appliqua d'une façon heureuse l'électrolyse à la métallurgie du cuivre. Parmi ces premiers essais, quelques-uns portèrent tout d'abord sur le bronze d'aluminium, puis sur la préparation même de l'aluminium. Et ceci va nous ramener à quelque quarante ans en arrière.

Vers 1854, un chimiste français d'un esprit aussi tenace qu'original, Henri Sainte-Claire-Deville, voulut rendre industrielle la préparation de l'aluminium. Ce métal léger, qui n'a qu'une densité de 2,7, lui paraissait susceptible de certaines applications. Avant Deville, Wœhler obtenait l'aluminium en faisant réagir le potassium sur le chlorure d'aluminium. Il restait, après lavage à l'eau, une poudre grise qui devenait brillante sous le brunissoir. Deville essaya d'enrichir l'industrie de cette nouvelle réaction ; il simplifia d'abord la préparation du sodium, parvint à la rendre pratique, et le métal alcalin, qui avant lui coûtait 1 000 francs le kilogramme, put être livré au commerce à raison de 20 francs. Deville fit alors réagir ce sodium sur le chlorure double d'aluminium et de sodium dans des conditions particulières, et il parvint à produire l'aluminium par centaines de kilogrammes et d'une façon véritablement industrielle. Beaucoup crurent la question résolue. Debray indiqua l'existence de bronzes d'aluminium possédant des réactions curieuses. Mais le prix de cet aluminium était encore beaucoup trop élevé, et, dans ces conditions, un métal qui ne présentait pas l'inaltérabilité de l'or ou du platine ne pouvait songer à se faire une position au milieu des métaux usuels. Malgré les efforts de Deville, l'aluminium restait encore sans emploi.

Il y a quelques années, en faisant jaillir l'arc électrique au milieu d'un mélange de cuivre et d'alumine, les frères Cowles ont pu obtenir un de ces bronzes d'aluminium dont je vous parlais tout à l'heure. De divers côtés, aussitôt, on reprit cette préparation de l'aluminium et, en quelques années, trois usines s'établirent : l'une en Amérique, l'autre en Suisse et la troisième en France dans le département de la Savoie. Ces différentes usines fabriquent par jour plusieurs tonnes d'aluminium. Les conditions de production ont donc changé tout à coup. Si la consommation de ce métal augmente, cela tient simplement à ce que l'aluminium, préparé au four électrique, peut se vendre 4 francs le kilogramme et pourra même être livré à un prix moindre.

L'industrie, aussitôt, s'occupe de ce métal. Il est employé pour affiner les aciers, mais c'est surtout sa légèreté qui va rendre ses applications importantes.

Depuis vingt ans l'Europe, après avoir assisté impassible à nos défaites, se ruine en armements. Cette ardeur que chaque peuple apporte à préparer ses moyens de défense a fait progresser notablement l'industrie des métaux. Par un retour curieux, les découvertes des savants en fournissant de nouvelles armes, une nouvelle poudre, de nouveaux explosifs ont rendu la guerre une mêlée si terrible que la tâche devient bien lourde pour celui qui devra en prendre la responsabilité. C'est à ces découvertes que l'on doit cet état de paix armée que l'Europe conserve depuis vingt-cinq ans et qui, s'il fait dépenser des milliards, présente au moins l'avantage d'économiser des vies humaines.

Par suite des besoins de notre époque, la première grande application de l'aluminium sera une application militaire. C'est un métal léger ; si donc nous pouvons le laminer et l'estamper, il pourra servir à fabriquer ces objets

Digitized by Google

de petit équipement : gamelle, bidon, marmite, qui jusqu'ici étaient en fer-blanc. Cette transformation peut être réalisée assez rapidement. Secondée par l'industrie française, la Commission de l'aluminium a été assez heureuse pour faire fabriquer même la marmite pour quatre hommes, d'une seule feuille d'aluminium, emboutie, sans étamage ni soudure. Puissent ces objets, deux fois moins lourds que leurs similaires en fer-blanc, alléger les épaules de ceux qui vont en ce moment à Madagascar défendre l'honneur du drapeau français !

Cette nouvelle industrie de l'aluminium est fondée sur des réactions encore un peu obscures, dans lesquelles interviennent tantôt les phénomènes d'électrolyse, tantôt les phénomènes calorifiques de l'arc électrique. La vapeur d'alumine, en effet, est réductible par le charbon à très haute température. Elle fournit alors le métal qui peut se carburer plus ou moins et produire une combinaison définie d'aluminium et de carbone. Ce composé se présente en belles lamelles jaunes parfaitement cristallisées ; il possède la propriété de décomposer l'eau lentement à froid en donnant de l'alumine et un dégagement régulier de gaz formène.

Déjà la grande industrie s'est emparée de l'électrolyse pour fabriquer le chlorate de potassium, la potasse, le chlore, l'hypochlorite de chaux, les persulfates, l'ozone, et enfin le sodium. A Manchester, par exemple, une usine produit par jour une tonne de sodium, qu'elle livre à raison de 5 francs le kilogramme. Ainsi, de tous les procédés de préparation des métaux alcalins, l'industrie n'a retenu aujourd'hui que la décomposition électrolytique qui a illustré le nom d'Humphry Davy. Cette méthode tout d'abord ne paraissait susceptible d'aucun rendement.

Mais tout un ensemble de réactions nouvelles sont dues plus particulièrement à la haute température de l'arc électrique. C'est ce point que je tiens à développer devant vous.

Dans l'étude de Desprez et dans quelques autres similaires, les matières que l'on voulait mettre en réaction étaient placées au milieu de l'arc même. Dans ces conditions, la vapeur de carbone et les impuretés des électrodes, qui le plus souvent sont loin d'être négligeables, interviennent rapidement et compliquent beaucoup les recherches.

Dans d'autres appareils, le creuset forme l'une des électrodes et le courant traverse la masse à fondre, de façon qu'il est difficile d'établir la part qui revient dans l'expérience à l'action électrique du courant et celle qui est due à l'élévation de température de l'arc.

Au contraire, dans le dispositif que nous avons indiqué, deux briques de chaux vive ou de calcaire ordinaire constituent tout l'appareil. Au milieu une petite cavité pour placer le creuset, et sur la brique inférieure deux rainures horizontales pour disposer les électrodes. Ce qui différencie ce four électrique de ceux qui ont été employés jusqu'ici, c'est que la matière à chauffer ne se trouve pas au contact du charbon, c'est-à-dire avec la vapeur de carbone. Cet appareil est un véritable four à réverbère. C'est un four électrique à réverbère et à électrodes mobiles. Ce dernier point a aussi son importance, car la mobilité des électrodes donne une grande facilité pour établir l'arc, pour l'étendre ou le raccourcir à volonté ; en un mot, elle simplifie beaucoup la conduite des expériences.

Ce four électrique, d'une grande simplicité, nous a rendu de nombreux services et nous a permis d'aborder des questions insolubles jusqu'ici.

C'est au moyen de cet appareil que nous avons pu, grâce à une élévation de température suffisante, réaliser la reproduction du diamant, la cristallisation des oxydes métalliques la réduction d'oxydes regardés jusqu'ici comme irréductibles, la fusion des métaux réfractaires, la distillation de la chaux, de la silice, de la zircone et du charbon, enfin la volatilisation abondante des métaux tels que le platine, le cuivre, l'or, le fer, le manganèse, l'aluminium et l'uranium. Certains de ces corps que l'on ne pouvait pas amener même à l'état de fusion, comme la magnésie, l'uranium, le tungstène et le molybdène, peuvent

Digitized by Google

dans le four électrique, prendre l'état gazeux. Nous avons pu manier très souvent dans ces études le gaz vapeur de chaux ou vapeur de silice.

La mise en marche de notre appareil est des plus simples. Le courant est amené par deux câbles souples aux électrodes de charbon, dont le diamètre, naturellement, grandira avec l'intensité de la machine dynamo. On établit le contact, l'arc jaillit, et, en reculant plus ou moins l'électrode, on donne à cette puissante étincelle une longueur constante qui dépend de la force électrique et de la conductibilité des vapeurs métalliques qui emplissent le four.

Dès le commencement de l'expérience une odeur pénétrante d'acide cyanhydrique se produit; elle provient de la combinaison de l'azote qui se trouve dans le four avec l'acétylène qui se forme au début. C'est une reproduction énergique de la belle synthèse de l'acide cyanhydrique de M. Berthelot.

La flamme pourpre du cyanogène illumine tout d'abord l'arc électrique, puis cette coloration disparaît et la lumière devient éclatante. La chaux vive qui forme l'intérieur du four ne tarde pas à fondre et à couler comme de la cire, puis à entrer en ébullition. En quelques minutes les électrodes sont portées au rouge vif; des torrents de vapeur sortent de tous côtés avec une intensité toujours croissante. La chaux distille en abondance et vient couvrir d'un enduit blanc les supports des électrodes. Ainsi, lorsque nous utilisons des courants de 100 à 300 chevaux, nous avons au milieu du four l'énorme température produite par l'arc électrique; à quelques centimètres plus bas, le creuset qui renferme la matière à expérimenter, et en dessous une paroi de chaux vive en pleine ébullition.

La mauvaise conductibilité de cette chaux est une heureuse fortune pour nous; elle isole, dans la plus petite cavité possible, le maximum de chaleur que l'arc électrique peut nous fournir.

Ce nouvel appareil, que nous avons modifié suivant les besoins de l'expérience, nous a permis d'aborder l'étude de toute une série de corps simples qui n'étaient jusqu'ici que des curiosités de laboratoire, faute de moyens suffisants pour les obtenir.

Le chrome, dont nous devons la découverte à Vauquelin, nous a fourni déjà de nombreuses applications. Ses oxydes et ses autres combinaisons sont entrés rapidement dans la pratique industrielle. Si le chrome n'a pas fourni d'alliages, s'il n'a pas été utilisé comme métal, il ne faut en accuser que la difficulté de sa préparation. On n'est jamais arrivé à le produire en notable quantité, et lorsqu'on a voulu utiliser ses importantes qualités pour la fabrication des aciers chromés, il a fallu préparer au haut fourneau un alliage de fer et de chrome très riche en carbone, le ferro-chrome.

Il nous a été facile, au moyen du four électrique, d'obtenir en abondance une fonte de chrome en réduisant le sesquioxyde par le charbon. Cette fonte, à l'affinage, nous a donné le chrome, et ce métal inoxydable est bien différent de celui obtenu jusqu'ici; il peut se limer comme le fer et prendre un très beau poli.

Le chrome, plus infusible que le platine, pourra donc servir maintenant à préparer des alliages sans que l'on ait besoin de passer par le ferro-chrome qui a l'inconvénient de renfermer jusqu'à 10 p. 100 de carbone.

Dans une seule expérience, faite dans un four à réverbère, nous avons pu en une fois couler 20 kilogrammes de fonte de chrome. Lorsque le besoin s'en fera sentir, ce procédé entrera de suite dans la grande industrie.

Cette préparation du chrome permettra d'aborder efficacement l'étude des alliages de ce métal. Uni soit à l'aluminium, soit au cuivre, il donne, en effet, avec ces métaux, des résultats intéressants. Le cuivre pur, allié à 0,5 de chrome, prend, en effet, une résistance presque double, et cet alliage s'altère moins que le cuivre au contact de l'air humide.

Le molybdène, que l'on n'était pas encore arrivé à fondre, peut s'obtenir, lui aussi, en notable quantité. En chauffant, dans un four électrique continu, un mélange d'oxyde de molybdène et de charbon, on prépare une

Digitized by Google

fonte de molybdène qui peut se couler et se mouler avec facilité. Elle fournit un carbure défini, très bien cristallisé; mais, réaction importante, elle s'affine par une nouvelle chauffe au four électrique, en présence d'un excès d'oxyde de molybdène. Le métal fondu que l'on recueille dans ces conditions possède un grain très fin et une surface brillante. Il peut se limer, et, au rouge, se forger sur l'enclume. Ce sont là des propriétés toutes nouvelles.

Le tungstène est un corps que les chimistes ne connaissaient jusqu'ici qu'à l'état de poudre. Sa préparation au four électrique va devenir très simple. Sous l'action de l'arc, l'oxyde de tungstène se réduira par le charbon et nous donnera, en quelques minutes, un culot métallique bien fondu, recouvert d'une belle couche d'oxyde bleu de tungstène. Ce métal, qui est plus infusible que le chrome et que le molybdène, pourra encore être amené à l'état liquide avec une grande facilité. Il ne paraît pas, comme les métaux dont je vous ai déjà parlé, avoir une grande affinité pour le charbon, et le tungstène, obtenu sans grandes précautions, est un des corps les plus purs que nous ayons préparés. A l'analyse spectrale, il ne nous indique comme impuretés que des traces de carbone et de calcium.

L'uranium métallique avait été produit en très petite quantité par Péligot, avec beaucoup de difficultés, en réduisant l'oxyde d'uranium par un métal alcalin. Dans ces conditions, l'uranium était impur; il renfermait toujours du sodium et soit du platine, soit du silicium, suivant la nature du vase dans lequel se faisait la réaction. Aux températures ordinaires de nos fourneaux, les différents oxydes d'uranium sont irréductibles par le charbon. Il n'en est plus de même aux hautes températures dont on peut disposer dans le four électrique. En soumettant un mélange de sesquioxyde d'uranium et de charbon à cette action calorifique, la réduction se fait en quelques instants. Après refroidissement, on retire du creuset un lingot métallique à cassure brillante, d'une grande dureté.

Lorsque cet uranium est légèrement carburé, il présente cette curieuse propriété de faire feu au contact d'un silex. Les parcelles entraînées brûlent avec une intensité et une énergie bien supérieures à celles que donne un morceau de fer.

Tous ces corps simples métalliques fondent à des températures de plus en plus élevées. A côté d'eux, nous placerons d'autres métaux dont les minerais sont assez rares, tels que le zirconium et le vanadium.

Ce vanadium, qui a été le sujet d'un très beau travail de M. Roscoë, n'était connu, lui aussi, que sous la forme d'une poudre grise renfermant comme impuretés de l'hydrogène, de l'oxygène et une petite quantité de métal alcalin.

Dans mon petit laboratoire de l'École de pharmacie, M. Roscoë a pu voir avec étonnement plusieurs centaines de grammes de ce corps si rare, qui se présentait en culots métalliques fondus, possédant une cassure cristalline et brillante.

Ce corps simple, dont le minerai est plus répandu qu'on ne le croit en général, nous avait déjà présenté une certaine difficulté pour être amené à l'état liquide; avec une machine de 40 chevaux, actionnant une dynamo Edison, c'est à peine si nous arrivions à en fondre quelques parcelles; l'utilité de courants très puissants se faisait déjà sentir.

Pendant ces longues recherches, nous avons eu l'occasion, avec mon préparateur M. Lebeau, de manier des courants à intensités bien différentes. Nous avons commencé avec la trop modeste machine que possède l'École de pharmacie de Paris, petit moteur de 4 chevaux. Quand nos appétits se sont développés, avec le champ de nos recherches, nous avons accepté l'hospitalité que nous offrait, avec tant de bienveillance, le colonel Laussedat, et le Conservatoire des arts et métiers a bien voulu mettre à notre disposition une machine de 45 chevaux. Plus tard, le directeur de la Société Edison, M. Meyer, nous a ouvert les portes de la belle usine d'éclairage de l'avenue Trudaine, et nous avons pu faire des expériences avec des machines de 100 à 300 chevaux.

Digitized by Google

De l'ensemble de ces études, nous avons conclu que l'intensité calorifique de l'arc électrique augmente certainement avec l'intensité du courant.

M. Rosetti regardait l'arc électrique comme possédant une température constante, quelle que soit la force qui le produit, et il attribuait à cet arc la température, peut-être excessive, de 4 800 degrés, et à l'électrode positive, avec un courant fourni par 120 éléments Bunsen, une température voisine de 4 000 degrés. Bien que les physiciens n'aient pas encore mesuré d'une façon indiscutable l'énorme dégagement de chaleur fourni par un arc électrique puissant, il est bien certain pour nous que de grandes distances ont été franchies, et que nous sommes très loin des 2 000 degrés que nous atteignions autrefois dans le laboratoire.

A la suite des métaux dont je viens de vous parler, nous avons étudié un corps beaucoup plus réfractaire : le titane. Au moyen d'une machine de 4 chevaux, un mélange de charbon et d'acide titanique nous a donné le protoxyde de titane; avec une machine de 45 chevaux, nous n'obtenions jamais que l'azoture de titane. Sous l'action de courants de 100 à 300 chevaux, nous avons préparé, toujours par kilogrammes, un carbure cristallisé, puis le véritable titane, dont les propriétés sont complètement différentes de celles que l'on attribuait autrefois aux poudres grises qui portaient ce nom. Ce corps prend feu dans le fluor : il ne décompose l'eau qu'au rouge vif, et il possède la curieuse propriété de brûler dans l'azote à haute température, en fournissant l'azoture de titane étudié par Friedel et Guérin. Il se combine avec facilité au carbone et au silicium. Il ne s'unit pas à l'argon, le nouveau gaz de l'atmosphère, ainsi que M. Ramsey s'en est assuré dans mon laboratoire.

Le point de fusion du titane est très élevé : sous ce rapport, il se rapproche du carbone. Il en diffère cependant en ce que le carbone, à la pression ordinaire et par une très grande élévation de température, passe, comme nous l'avons démontré, de l'état solide à l'état gazeux sans prendre l'état liquide, tandis que le titane peut être liquéfié, puis volatilisé dans le four électrique.

Dans les recherches que j'ai l'honneur de vous exposer, le mot carbure revient à chaque instant. La plupart des corps simples fournissent en effet, avec le carbone des combinaisons bien définies, cristallisées, stables à haute température, qui vont donner un nouveau chapitre à la chimie minérale. Ces composés joueront plus tard un rôle important au point de vue de la classification des métaux et leurs propriétés sont parfois assez singulières. Quelques-uns décomposent l'eau à froid en dégageant de l'acétylène, du formène ou de l'éthylène : les carbures d'hydrogène obtenus dans ces conditions présentent une grande pureté.

Ainsi que je le faisais remarquer précédemment, les préparations des métaux affinés, c'est-à-dire exempts de charbon, doivent être assez rapides. Il faut soustraire le métal liquide à l'action de la vapeur de carbone, si l'on ne veut pas obtenir le carbure, qui lui-même peut être volatilisé dès que l'action calorifique de l'arc se continue.

M. Daubrée estime que le carbone de tous nos composés organiques actuels a pu se trouver originairement combiné aux métaux à l'état de carbures métalliques. Le four électrique semble bien réaliser les conditions de cette époque géologique reculée. Il est vraisemblable pour nous que ce sont ces composés qui peuvent subsister dans les astres à température élevée. Nous ajouterons que, pour cette même période, l'azote devait se rencontrer sous forme d'azotures métalliques, tandis que, vraisemblablement, l'hydrogène existait en grande quantité à l'état de liberté dans un milieu gazeux complexe.

Tous ces corps simples, qui s'obtiennent au four électrique par kilogrammes, ont également des borures et des siliciures très bien cristallisés et assez durs pour que certains puissent tailler le diamant avec facilité.

Quel sera leur rôle dans la fabrication des aciers? Pourront-ils, comme le chrome, donner au fer de la dureté et des propriétés nouvelles? L'avenir nous l'apprendra.

Digitized by Google

Toujours est-il qu'une nouvelle chimie des hautes températures se forme, et que l'industrie, vraisemblablement, en pourra tirer de nombreuses applications. Je suis convaincu que le traitement des métaux au moyen de la chaleur de l'arc électrique prendra un développement de plus en plus grand. On évitera ainsi d'ajouter au minerai toutes les impuretés de la houille; les gangues, les fondants disparaîtront, et de suite on portera à la température voulue le mélange à mettre en réaction. Ces transformations se feront avec rapidité.

En faut-il un exemple? Nous avons indiqué l'année dernière qu'il était facile d'obtenir, au four électrique, un carbure de calcium qui présentait la curieuse propriété de décomposer l'eau à froid aussi énergiquement que le sodium. Mais, tandis que le sodium produit de l'hydrogène, notre carbure fournit un dégagement de gaz acétylène dont les propriétés ont été magistralement décrites par M. Berthelot. Cet acétylène, si riche en carbone, possède un pouvoir éclairant bien supérieur à celui du gaz ordinaire. Nous ajouterons que 3 kg. de carbure de calcium peuvent donner 1 m³ de gaz acétylène.

En Amérique, en Angleterre, en Allemagne, les usines se montent pour préparer industriellement ce carbure de calcium générateur d'acétylène. On espère employer ce dernier gaz soit à enrichir le gaz d'éclairage, soit à le remplacer dans quelques applications particulières.

Cette modification profonde que vont subir certaines industries, grâce à l'emploi des forces électriques, se reconnaît de tous côtés. On demande aux forces naturelles tout ce qu'elles peuvent fournir, et leur transformation en électricité permet de les utiliser avec facilité.

En voici une preuve : partout on cherche à mettre en activité des turbines sous l'action de l'écoulement de l'eau ; l'immense chute du Niagara est déjà mise à contribution par l'industrie américaine. Auprès de la chute du Niagara, non loin de Buffalo, entre le Canada et les États-Unis, une ville nouvelle se forme avec rapidité. L'eau du Niagara, prise avant la chute, est amenée dans des turbines dont l'axe, formé par un cylindre d'acier de 60 m. de longueur, actionne directement les machines dynamos. Chacune correspond à une force de 5.000 chevaux. Ce sont les dynamos les plus puissantes que l'industrie ait encore créées. Toute cette force électrique, subdivisée à l'infini, va alimenter une fabrique d'aluminium, des moulins, des papeteries. Elle donne à une usine 3.000 chevaux, à une autre 300, à la volonté et au gré de l'industriel. Un tramway électrique réunit, sur une longueur de 11 km., toutes les usines avec les chemins de fer. La lumière électrique inonde les chantiers. Les maisons d'ouvriers, les gares, les docks sont déjà construits ; les plans sont préparés pour porter à Buffalo, à plus de 30 km. de distance, toute la force dont cette ville peut avoir besoin. Dans peu de temps, la même Compagnie exploitera les rives canadiennes du Niagara, et nous allons assister à ce curieux spectacle de la formation du plus grand centre industriel du monde

Nous sommes loin de l'expérience de Thalès de Milet, de l'attraction des corps légers par l'ambre électrisé. On peut reconnaître l'importance de la méthode scientifique par les résultats obtenus.

L'énorme force de la chute du Niagara, force perdue jusqu'ici et que l'on peut estimer à 1.700.000 chevaux, ne s'écoulera plus inutilement ; l'homme la prend à son service.

Ces pensées, messieurs, me revenaient à l'esprit, il y a quelques jours à peine, en traversant la ville de Marseille.

Dans le vieux port viennent se rencontrer des bateaux en bois, de petit tonnage, de tous les pays du monde. Sur les quais sont débarqués pêle-mêle les dattes de Tunisie, les vins d'Algérie, le soufre de la Sicile, les oranges d'Italie, les bois de la Suède, au milieu d'une population agitée, d'un monde bruyant de matelots, de cochers et de portefaix. Tout cela sous le beau soleil de la Provence, qui transforme en diamants les gouttes de rosée et en nuage d'or la poussière du chemin. A quel-

Digitized by Google

ques pas de ce spectacle si bruyant et si pittoresque, on rencontre, au port de la Joliette, d'immenses transatlantiques en fer, transbordant, au moyen de grues puissantes, les caisses et les tonneaux qui passent directement des flancs du navire sur les wagons du chemin de fer. Là, peu d'hommes, pas de bruit, la vapeur partout, et des poids énormes transportés en quelques instants. Est-ce que ce dernier spectacle n'a pas aussi sa poésie et sa grandeur? L'homme assujettissant une force puissante, utilisant les ressources de la mécanique et la résistance du fer, produisant, en un mot, beaucoup de travail avec moins de peine, nous offre un exemple saisissant de ce que peuvent les applications de la science.

De ces efforts successifs exercés par l'homme sur la nature qui l'environne, de grandes idées se dégagent. La découverte de la locomotive et celle du télégraphe n'ont-elles pas contribué dans une large mesure au progrès de l'humanité? Grâce à la science, et dans une lutte de tous les instants, l'homme est sorti vainqueur des difficultés qui l'entouraient. Cette science, sur laquelle il s'appuie, et qui ne construit que lentement et sur un terrain solide, étend sans cesse le champ de ses conquêtes. Son rôle deviendra de plus en plus grand. Heureux les peuples qui en comprennent l'importance et qui savent, par une volonté soutenue, en préparer les résultats! Les bénéfices ne se font pas attendre.

MOISSAN,
Membre de l'Académie des sciences.

DISTRIBUTION MONOCYCLIQUE

DE STEINMETZ

Sous ce titre ou celui plus abrégé de « Système monocyclique », les journaux américains font en ce moment assez grand bruit d'un certain nombre de brevets demandés l'année dernière mais tout récemment accordés à M. Steinmetz en vue de doter des avantages des courants polyphasés les multiples et grandes installations par courants alternatifs simples existant déjà dans ce pays.

Nous donnerons d'abord, d'après notre confrère l'*Electrical World*, l'analyse de ces brevets que nous ferons suivre d'une intéressante communication de M. Louis Bell et de la discussion à laquelle elle a donné lieu dans les séances de la « National Electric Light Association », de Cleveland, tenues en février dernier.

Le premier brevet, en date du 2 avril 1894, décrit un mode de distribution dit « monocyclique » qui permet d'alimenter, avec un courant issu d'une source unique d'énergie électrique et un système commun de circuits, des lampes ou autres appareils d'utilisation du courant alternatif simple, en même temps que des moteurs polyphasés. A l'aide de ce système on peut installer des générateurs pour éclairage ordinaire, et, partout où on désire actionner des moteurs en plus des lampes, il suffit d'ajouter un conducteur supplémentaire aux points où se trouvent situés les moteurs et de maintenir sur ce conducteur une f. é. m. décalée de telle sorte que, entre lui et les conducteurs de courants alternatifs simples, il existe des f. é. m. polyphasées. On arrive à ce résultat à l'aide de sources de f. é. m. supplémentaires ou modificatrices de phase, disposées de manière à agir conjointement avec la source principale de f. é. m. mais ayant une relation différente de phase, l'action combinée des sources principale et supplémentaires maintenant sur le troisième conducteur ou conducteur intermédiaire du circuit polyphasé une f. é. m. de phase décalée.

D'une manière générale la méthode consiste dans l'emploi d'une bobine modificatrice de phase, ajoutée au générateur du type alternatif ordinaire et déplacée dans le champ par rapport à l'enroulement principal de manière à engendrer une f. é. m. différant en phase de celle engendrée dans ce dernier. Cette bobine est reliée par une de ses extrémités à un point intermédiaire dans l'enroulement principal,

Digitized by Google

et par son autre extrémité au conducteur intermédiaire du circuit polyphasé, les conducteurs extérieurs du circuit étant eux-mêmes reliés aux bornes de l'enroulement principal.

La figure 1 donne le diagramme d'un système de distribution de ce genre. Le générateur comprend un enroulement d'induit AA^2, dont les bornes sont reliées aux bagues collectrices R^1 R^2 et monté comme dans les alternateurs simples ordinaires. L'enroulement AA^2 forme la source principale de f. é. m. et entretient une f. é. m. alternative dans les conducteurs principaux *a c*, respectivement reliés aux bagues collectrices et qui constituent soit un simple circuit alternatif soit les conducteurs extérieurs d'un circuit polyphasé. L'inducteur du générateur est roulé d'une bobine F en circuit avec une excitatrice shunt indépendante E, munie d'un rhéostat de régulation I. Pour le compoundage ou l'hypercompoundage de la dynamo principale, on peut également munir son système inducteur d'une bobine en série F', dans laquelle le courant est redressé par un commutateur K; on voit également en r' une résistance shuntant les balais du commutateur pour prévenir les étincelles, mais qui n'a rien de particulier au système.

Le conducteur intermédiaire *b* du circuit polyphasé est relié à une troisième bague collectrice R^3, et la bobine A' modificatrice de phase, qui occupe une position décalée dans le champ, a une de ses bornes à cette bague collectrice, et l'autre reliée à un point situé au centre électrique de l'enroulement principal ou dans le voisinage, comme l'indique le diagramme.

Quand l'alimentation est limitée à l'emploi du courant alternatif simple, la bobine modificatrice de phase est en circuit ouvert et alors le système fonctionne à tous égards comme un système alternatif ordinaire quelconque, les appareils d'utilisation, tels que des lampes, étant reliés électriquement ou inductivement (c'est-à-dire par transformation) aux conducteurs extrêmes *a* et *c*, tandis que le conducteur intermédiaire est inactif. Lorsqu'on veut obtenir des courants polyphasés, on relie au conducteur intermédiaire la bobine modificatrice de phase, et il est alors développé entre ce conducteur intermédiaire et les extrêmes *a c*, respectivement, des f. é. m., dues à l'action résultante de la bobine A' et des moitiés de l'enroulement principal AA^2, qui se trouvent en discordance de phase l'une avec l'autre et avec celle maintenue par l'action toujours identique de l'enroulement principal entre les conducteurs *a* et *c*. Dès lors, quand des appareils d'utilisation sont reliés aux trois conducteurs, on peut obtenir des courants polyphasés ayant une relation de phase déterminée par l'action résultante des sources principale et supplémentaires de f. é. m.

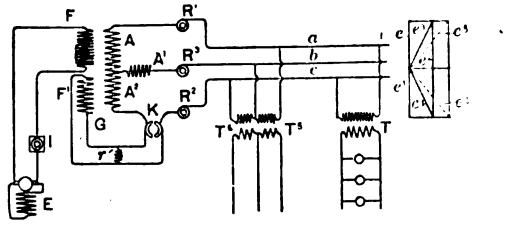


Fig. 1 et 2.

Le diagramme (fig. 1) représente un circuit de lampes, qui n'exigent que des courants alternatifs simples, inductivement relié par l'entremise du transformateur T, aux conducteurs *a* et *c*. Au milieu de la figure on voit un système de transformateurs adapté à la transformation des courants polyphasés issus des trois conducteurs. Pour deux de ces transformateurs T^4 et T^5, les circuits primaires sont couplés en série et leurs bornes libres sont reliées aux conducteurs *a* et *c*, tandis que le conducteur intermédiaire *b* est relié à un point entre les primaires. Les secondaires sont connectés de même. Un montage de ce genre transforme les courants primaires en courants secondaires de potentiel différent mais de même relation de phase. — Une autre figure donne en outre, dans la spécification du même brevet, un alternateur simple monté entre les conducteurs *a* et *c*.

La figure 2 montre combien l'angle de déca-

Digitized by Google

lage maintenu dans le conducteur *b* dépend des phases relatives des f. é. m. composantes dues à la bobine modificatrice de phase et à la bobine principale. *e* représente la f. é. m. de la moitié de l'enroulement principal A; *e'*, celle due à l'autre moitié A^2 de cet enroulement; et e^2, celle due à la bobine modificatrice de phase. Les f. é. m. résultantes maintenues entre le conducteur *b* et les conducteurs *a c* seront alors représentées par e^3 et e^4. Si maintenant on change la valeur relative des composantes, comme, par exemple, en augmentant la valeur de e^2, tout en maintenant *e* et *e'* telles qu'elles sont indiquées par les lignes ponctuées, les f. é. m. résultantes prendront une position angulaire différente, et par suite la différence de phase changera corrélativement. Pour permettre le réglage de la relation de phase, il suffira de rouler la bobine modificatrice de phase en sections et de la munir d'un commutateur permettant d'en mettre plus ou moins en circuit.

Dans cette spécification la source modificatrice de phase de f. é. m. est décrite comme consistant en une bobine supplémentaire sur le générateur. Il n'est cependant pas nécessaire que cette source soit directement reliée à la source principale, et dans une autre application la source est située en un point de la ligne éloigné.

Un autre brevet demandé le 5 avril 1894 indique une manière différente d'atteindre le même résultat, sans aucun changement dans la construction du type d'alternateur ordinaire communément installé.

Cette méthode consiste à engendrer, au moyen d'une forme quelconque convenable d'alternateur, de simples courants alternatifs susceptibles d'être transmis par simple circuit alternatif à une section de réseau où sont montés des appareils polyphasés. En un point de ce genre la f. é. m. décalée est engendrée et maintenue sur un conducteur distinct qui, avec les conducteurs du simple circuit alternatif, constitue un circuit polyphasé sur lequel sont pris des courants polyphasés. Ce procédé dispense de faire partir le conducteur additionnel de la station génératrice principale et de lui faire suivre tout le trajet de la canalisation; il suffit de le faire régner dans les sections du système où sont employés des courants polyphasés.

La f. é. m. décalée peut être empruntée, au point voulu, à un convertisseur de phase ou machine analogue à un moteur synchrone ou d'induction; cet appareil est muni d'un enroulement principal, tel que ceux employés communément dans les machines de ce type, et d'une bobine modificatrice de phase, qui, mise en mouvement dans le champ magnétique, devient le siège de la f.é.m. décalée désirée. La figure 3 représente schématiquement un système de distribution comportant un montage de ce genre : G est un alternateur simple dont l'enroulement d'induit est relié, par les bagues R^1 R^2 et un transformateur T^1 rehausseur de potentiel, aux conducteurs *a* et *c* constituant un simple circuit alternatif. O est l'enroulement inducteur de l'alternateur, alimenté par le courant continu d'une excitatrice E réglée par un rhéostat R; T^1 et T sont les transformateurs rehausseur et abaisseur de potentiel, et au delà de T se trouve un circuit de second ordre *a' c'* sur lequel sont montées des lampes à incandescence L L.

En vue d'obtenir des courants polyphasés destinés à actionner des moteurs polyphasés montés sur ce circuit de second ordre, il est installé un convertisseur de phase M^2 dont l'enroulement d'induit AA^2 a ses bornes reliées aux conducteurs *a' c'* et qui, par suite, reçoit de ces conducteurs des courants alternatifs simples. Cette machine est du type synchrone; ses inducteurs sont alimentés par les courants continus d'une excitatrice E, réglée par un rhéostat R intercalé dans son système d'excitation. L'enroulement principal d'induit AA^1 est le même que celui employé dans les alternateurs simples. Une bobine A' modificatrice de phase, reliée par une de ses extrémités au milieu de cet enroulement principal et d'autre part à une bague collectrice se trouve ainsi mise en communication avec un conducteur

Digitized by Google

supplémentaire médian b', qui, avec les conducteurs ordinaires a' c', constitue un circuit polyphasé dérivé applicable à toutes les utilisations de la pratique. La bobine A' occupe une position décalée par rapport à la bobine principale dans le champ magnétique.

Ainsi construit l'induit de la machine M⁵ fonctionne comme dans le cas d'un moteur synchrone ordinaire, et la bobine modificatrice de phase A' développe et maintient sur le conducteur intermédiaire b' une f. é. m. décalée telle que des courants polyphasés sont fournis aux circuits d'utilisation dont les bornes sont reliées aux trois conducteurs. Ces circuits d'utilisation sont représentés en M¹ M². M¹ est un moteur de construction semblable à celle de la machine M⁵. Il a un enroulement principal relié aux conducteurs a' c' et un enroulement supplémentaire e couplé entre le conducteur médian b' et le milieu de l'enroulement principal. Cette dernière bobine occupe dans le champ une position décalée correspondant au décalage existant entre le conducteur intermédiaire et les conducteurs extrêmes. M² représente un moteur triphasé du type synchrone ou à induction, avec son bobinage étoilé et ses différentes bobines reliées aux fils a' b' c'. Une de ces bobines, celle reliée au conducteur b', est renversée, de manière à le faire fonctionner comme moteur triphasé à courants décalés d'un tiers de période l'un par rapport à l'autre, bien que le diagramme suppose un décalage d'un sixième seulement de période entre le conducteur médian b' et les conducteurs externes.

Une autre illustration relative à la même spécification représente des transformateurs interposés entre les moteurs et la ligne.

On y trouve encore une autre modification qui ne nécessite aucun changement dans la construction des machines aujourd'hui couramment employées. Ainsi, dans la figure 4, G est un alternateur simple. Deux transformateurs T⁷ et T⁸ ont leurs circuits primaires montés en série sur les conducteurs a c, tandis que du point milieu qui les sépare part un troisième conducteur b. M⁷ représente un moteur triphasé à enroulement étoilé. Les bornes de deux de ses bobines sont reliées par des conducteurs a' c' aux secondaires des transformateurs, tandis que la troisième est reliée au conducteur b'. Le secondaire du transformateur T⁸ est renversé de manière à modifier la relation de phase du courant transformé d'un sixième de période sur le côté primaire en un tiers de période sur le côté secondaire. Par suite de cette disposition la machine M⁷ maintient sur le conducteur b' une f. é. m. décalée qui se répercute à travers les transformateurs et y modifie la relation de phase des courants primaire et secondaire aussi bien que du po-

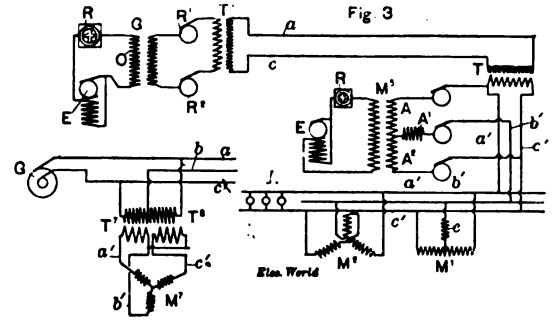


Fig. 3 et 4.

tentiel. De cette façon on peut employer des courants de haute tension avec une machine triphasée bobinée comme d'habitude pour des tensions relativement basses.

Une autre spécification, fournie encore le 11 du même mois, décrit un système de distribution électrique pour courants polyphasés; sa nouveauté caractéristique consiste en une disposition permettant de faire fonctionner des moteurs triphasés sur des circuits dans lesquels circulent des courants différant en phase d'un sixième de période, et ce moyennant de très légères modifications dans la construction des moteurs par rapport à celle des machines d'induction ordinaires, bien connues, de cette catégorie. Ce changement consiste à renverser une des trois bobines du moteur de telle sorte que le courant circule dans cette bobine en sens contraire de celui qu'il a

Digitized by Google

dans les moteurs ordinaires, et produise en conséquence le même effet, en ce qui concerne l'action du moteur, que celui obtenu jusqu'ici à l'aide de courants décalés l'un par rapport à l'autre d'un tiers de période.

La figure 5 est la représentation schématique d'un système de distribution comportant cette application. G est un alternateur ordinaire à cela près qu'il y est ajouté une bobine modificatrice de phase, comme dans les cas précédents. F indique les bobines inductrices et E une excitatrice à courant continu montée en dérivation et réglée par le rhéostat R. La bobine C' modificatrice de phase occupe dans

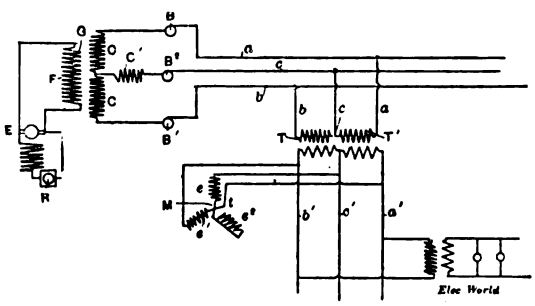


Fig. 5.

le champ magnétique une position décalée d'un quart de période par rapport aux bobines principales; elle développe ainsi une f. é. m. différant en phase d'un sixième de période relativement à celle des bobines principales. On assure cette relation de phase en proportionnant convenablement les enroulements des bobines principales et de la bobine supplémentaire, de telle sorte que les f. é. m. résultantes engendrées par la bobine C' et les moitiés respectives de l'enroulement principal diffèrent en phase de la fraction voulue de période.

Pour transformer les courants circulant dans les conducteurs en en réduisant le potentiel, on emploie deux transformateurs T T' dont les enroulements primaires sont couplés en série et qui sont reliés en leur bornes libres et par leur milieu *c* aux trois conducteurs *a b c*. Leurs circuits secondaires sont également couplés en série et reliés exactement de la même manière aux conducteurs secondaires *a' b' c'*. Le circuit d'utilisation comporte un moteur triphasé M avec ses trois bobines habituelles *e e' e²*, dont deux, *e* et *e'*, ont leurs bornes correspondantes reliées en un point commun *t*, tandis que la troisième a sa borne opposée reliée au même point. L'enroulement de ce moteur est du type ordinaire en étoile et ne diffère de la construction courante que par le renversement de la bobine e^2. Les bornes libres de ces bobines sont respectivement reliées aux conducteurs *a' b' c'*. Par suite de cette disposition les conducteurs *a'c'* et *b'c'* laissent passer des courants qui diffèrent en phase d'un sixième de période ; mais le renversement de sens du courant dans la bobine e^2 modifie la relation des courants, en ce qui concerne le fonctionnement du moteur, de telle sorte qu'il se comporte comme un moteur triphasé ordinaire dont les bornes seraient reliées à des conducteurs portant des courants décalés d'un tiers de période.

Une autre figure jointe à la même spécification illustre un système semblable au précédent, à cela près que les courants monocycliques ne sont pas engendrés directement à la station génératrice, mais fournis par un convertisseur de phase (dynamo-moteur) recevant le courant d'un circuit alternatif simple.

Dans une quatrième demande de brevet du 13 avril on trouve la description d'un système de distribution pour courants polyphasés permettant de convertir des courants différant d'un sixième de période en courants différant d'un tiers de période, ou inversement, ce qui rend possible la production et la distribution de courants décalés d'un sixième de période et leur conversion en courants décalés d'un tiers de période pour actionner des moteurs triphasés du type ordinaire ou autres appareils triphasés. Cette méthode permet également de convertir des courants monocycliques en courants triphasés.

La conversion de l'un des systèmes dans l'autre est effectuée par deux transformateurs dans lesquels les enroulements primaire

Digitized by Google

et secondaire sont en relation inverse, de sorte que, dans un système au sixième de période, la phase de l'un des courants se trouve déplacée d'une demi-période, ce qui lui donne par rapport aux deux autres courants une relation de phase telle que les trois courants sont décalés l'un sur l'autre d'un tiers de période.

La figure 6 représente le diagramme du système de distribution dans lequel des courants décalés d'un sixième de période ou monocycliques sont convertis en courants décalés d'un quart de période ou triphasés, G étant, comme dans la figure 5, un générateur monocyclique.

Pour convertir leurs courants en courants triphasés, on fait usage de deux transformateurs T T′ dont les bobines primaires sont reliées en série au point *e*. Leurs bornes libres sont reliées à deux des conducteurs *a* et *c*, et leurs bornes communes en *e*, au troisième conducteur *b*. Les enroulements secondaires de ces transformateurs sont reliés de même aux conducteurs *a′ b′ c′*, mais l'une des bobines secondaires, comme, par exemple, celle du transformateur T, est renversée, ainsi qu'on le voit sur le diagramme. Il en résulte une torsion de la f. é. m. maintenue entre le conducteur médian *b′* et l'un des conducteurs extérieurs, torsion de 180° qui convertit la relation de phase des f. é. m. du côté secondaire des transformateurs en un tiers de période, tandis que la relation du côté primaire est d'un sixième. Au lieu de renverser une des bobines secondaires, on peut réaliser le même changement de phase en renversant une des bobines primaires. Les courants triphasés ainsi obtenus peuvent être utilisés à volonté sur des moteurs, des lampes, etc.

Dans la figure 7 le générateur G′ est du type triphasé, et les f. é. m. maintenues entre les conducteurs *a b c* sont décalées d'un tiers de période l'une par rapport à l'autre. Ces courants peuvent être convertis en un système monocyclique à l'aide de deux transformateurs T^2T^3 reliés en série aux conducteurs *a b c*, d'une manière identique aux transformateurs TT′ représentés dans la figure 6, et déjà décrits. Les secondaires des transformateurs sont reliés aux conducteurs *a′ b′ c′* ; mais le secondaire du transformateur T^2 est renversé de sorte que les deux f. é. m. entre le conducteur *c′* et les conducteurs *a′ b′* sont décalés d'un sixième de période, au lieu d'un tiers, comme du côté primaire. Les courants secondaires peuvent être utilisés à actionner des appareils d'une manière quelconque.

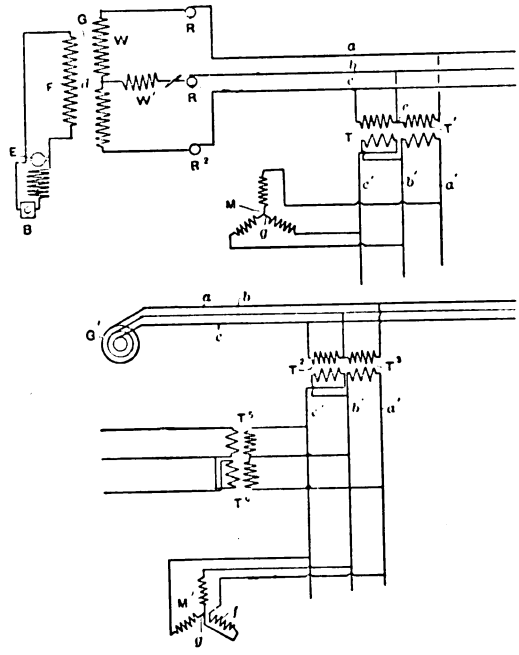


Fig. 6 et 7.

On peut faire fonctionner des moteurs sur les trois conducteurs par l'emploi d'un système de transformateurs T^5 et T^6 absolument semblables à ceux, T et T′, décrits à propos de la figure 6 ; ou bien, en modifiant légèrement la construction du moteur triphasé ordinaire, on peut les relier directement aux conducteurs *a′ b′ c′*. Cette modification consiste à renverser une des bobines du moteur, comme on le voit en M′. Ici le moteur a trois enroulements avec un jeu de bornes relié à un point commun *g*, et les bornes libres reliées aux conducteurs ; mais, au lieu de la disposition figurée en M, l'une des bobines, *f*, est inversée. On voit par là comment des moteurs de ce type peuvent

Digitized by Google

être actionnés par les conducteurs a' b' c' sans reconversion des courants décalés d'un sixième de période en véritables courants triphasés.

Dans un autre brevet demandé le 24 septembre 1894 se trouve décrit un système dans lequel deux ou plusieurs moteurs polyphasés, dont un certain nombre de bobines sont reliées à un circuit alternatif simple et les autres décalées par rapport aux précédentes dans le champ magnétique, sont reliés entre eux par un fil de compensation. Le fonctionnement

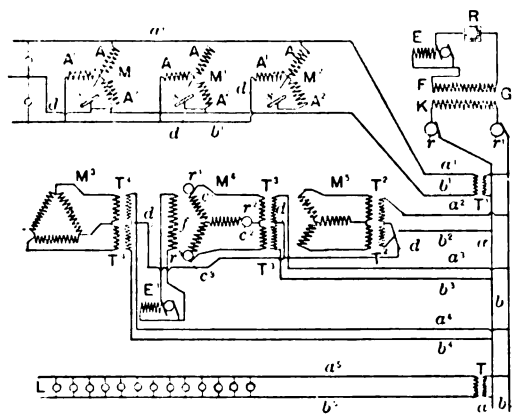


Fig. 8.

de l'un quelconque des moteurs détermine alors dans ce fil une f. é. m. déphasée qui permet à l'un quelconque des autres de démarrer. Des deux figures qui accompagnent cette spécification, l'une s'applique à des moteurs triphasés (fig. 8) ; l'autre, à des moteurs diphasés. G est un alternateur simple, E son excitatrice, et T' un transformateur. Dans l'un des circuits dérivés a' b' sont indiqués trois moteurs polyphasés M^1, M, M^2 avec leurs bobines en étoile. Chacun de ces moteurs a deux de ses bobines reliées en série sur les conducteurs alternatifs simples ; et sa troisième bobine reliée à la bobine correspondante des autres moteurs par l'entremise d'un fil de compensation d.

Si l'on suppose tous les moteurs, sauf un, coupés des lignes d'alimentation a' b', et le moteur M, qui y reste relié, lancé et marchant, il sera alors engendré dans la bobine A', reliée au fil de compensation, une f. é. m. alternative décalée par rapport aux f. é. m. dans les lignes alternatives simples a' b'. Cette f. é. m. décalée est transmise dans le fil de compensation, et alors si un autre moteur est mis en connexion avec les lignes alternatives simples a' b' et le fil de compensation d, il recevra dans sa bobine A' une f. é. m. décalée qui, agissant conjointement avec la f. é. m. alternative simple sur les lignes $a'b'$, le fera démarrer.

On voit ainsi que le fonctionnement de l'un quelconque des moteurs donnera naissance dans le fil d à une f. é. m. décalée permettant à l'un quelconque des autres moteurs de démarrer seul. Quand tous les autres moteurs fonctionnent, le fil de compensation d peut être, et est de préférence, pratiquement inactif ; mais dans le cas de charge anormale par excès ou par défaut sur une partie des moteurs, il servira à transférer de l'énergie des éléments les moins chargés du système sur ceux qui le sont trop. Dans le cas où un moteur est mis en connexion avec les lignes d'alimentation et où aucun autre moteur n'a été antérieurement ainsi connecté, il peut être très commodément mis en action. On remarquera à cet effet un petit interrupteur s qui shunte une des bobines inductrices du moteur et qui, avec une bonne proportion entre les divers éléments, fait démarrer le moteur, même sous charge.

Dans une autre partie de la figure, on voit trois circuits dérivés a^2 b^2, a^3 b^3, a^4 b^4, alimentant des moteurs M^5, M^4, M^3, par l'entremise de jeux de transformateurs T^2, T^2, T^3, T^3, T^4, T^4, qui réduisent le potentiel aux moteurs. Le fil de compensation d est relié à un point entre les bobines primaires de chaque jeu de transformateurs T^2, T^2, T^3, T^3, T^4, T^4. Le moteur M^5 est représenté comme un moteur à induction monté en étoile et a deux de ses bobines groupées en série avec les secondaires des transformateurs T^2, T^2, sa troisième bobine étant reliée entre les secondaires des transformateurs T^3 T^3. On voit ensuite un moteur syn-

Digitized by Google

chrone M^4 à bobines d'induit relativement décalées et montées en étoile. Ces bobines sont reliées aux bagues collectrices r^1, r^2, r^3, sur lesquelles portent des balais c^1, c^2, reliés aux bornes extérieures des secondaires des transformateurs T^3 T^3, et un balai c^3 relié à la jonction desdits secondaires.

Une bobine inductrice f, en circuit avec une excitatrice indépendante E', complète ce moteur synchrone.

M^3 représente un moteur triphasé à induction, avec enroulement en triangle, dont l'une des bobines est montée en série sur les secondaires des transformateurs T^4 T^4, et la jonction des deux autres bobines sur la jonction des secondaires de ces transformateurs. Ces dispositions réalisent un fonctionnement semblable aux précédents, sauf en ce que le transfert de la f. é. m. déphasée et de l'énergie sur le fil de compensation est effectué par une transformation intermédiaire à l'aide des transformateurs T^1, T^2, T^3, T^3, T^4, T^4. Ce montage s'applique aux cas où les moteurs sont tous à proximité raisonnable des conducteurs a b, mais éloignés l'un de l'autre, tandis que le montage indiqué pour les moteurs M, M', M^2, est plus particulièrement applicable au cas où les moteurs sont rapprochés les uns des autres. En a^5 b^5 se trouve un circuit dérivé comportant des appareils tels que des lampes L, alimentés par les conducteurs a b à l'aide d'un transformateur T. Il est également évident que des appareils alternatifs simples, à induction ou sans induction, peuvent être alimentés par l'un quelconque des circuits dérivés a' b', a^1 b^1, etc.

Les moteurs représentés dans la figure 8 sont tous des moteurs triphasés, et il faut bien comprendre que l'on peut employer des moteurs ordinaires triphasés tels qu'ils sont indiqués ici, sans aucune modification. Ces moteurs, comme on les construit jusqu'ici, ont en général leurs trois bobines semblablement enroulées de manière à agir toutes trois de même ; les f. é. m. engendrées dans le fil de compensation d s'équilibreraient ainsi naturellement dans le fonctionnement normal des moteurs ; mais cette égalité d'action n'est pas nécessaire. Les bobines peuvent avoir des valeurs relatives inégales dans les différents moteurs, de sorte que cet équilibre n'existe pas, bien que le système équilibré soit préférable. La seule condition nécessaire est que cette relation soit la même dans les différents moteurs, c'est-à-dire que, si l'une des bobines agit plus énergiquement que les autres dans l'un des moteurs, la bobine correspondante dans les autres devra être plus énergique que ses voisines dans ces mêmes moteurs. Il est clair également que l'on peut employer une autre relation quelconque de phase, et que le même système peut alimenter des appareils triphasés d'une part et des appareils tétraphasés d'autre part, avec des fils de compensation distincts ; c'est-à-dire que les appareils triphasés auront un fil de compensation, et les appareils tétraphasés un autre ; ces appareils de relation de phase différente peuvent même être reliés au même fil de compensation par l'interposition de modificateurs convenables de phase, tels que des transformateurs. — Un autre schéma de la même spécification représente un montage de ce genre.

Le dernier brevet de cette série (dépôt du 24 septembre 1894) comprend un jeu de conducteurs reliés à une source de courants alternatifs simples qui les alimente et est réunie à ce jeu de conducteurs et à un ou plusieurs fils de compensation dans lesquels est maintenue une f. é. m. décalée par rapport aux f. é. m. dans les conducteurs alternatifs simples. En différents points de ce système ce troisième fil est relié aux appareils d'utilisation dont le fonctionnement exige un décalage de f. é. m., comme, par exemple, certaines formes de moteurs à courants alternatifs. Ces moteurs ont un certain nombre de leurs bobines reliées sur les conducteurs alternatifs simples, qui, dans le fonctionnement normal des moteurs, fournissent l'énergie qui les actionne. D'autres bobines des moteurs sont reliées à un fil de compensation et alimentées ainsi par une f. é. m. déphasée.

Dans le fonctionnement normal du système,

Digitized by Google

c'est-à-dire quand la charge est normale sur toute son étendue, y compris celle des moteurs, les moteurs empruntent effectivement toute leur énergie de fonctionnement aux conducteurs alternatifs simples, et le fil de compensation, tout en maintenant une f. é. m. décalée dans la bobine à laquelle il est relié, ne fournit aucune portion effective de l'énergie convertie en travail mécanique par la rotation du moteur. Dans ces conditions le système devient en fait un système alternatif simple ; il est susceptible d'être réglé et capable d'actionner les appareils alternatifs simples aussi facilement que le système ordinaire à courants alternatifs simples. Tel est le système appelé par le brevet *système monocyclique.*

Si l'on compare ce système avec un système polyphasé ordinaire, on remarquera que dans le système polyphasé il existe deux ou plusieurs conducteurs principaux portant deux ou plusieurs courants alternatifs de phase différente, dont chacun fournit une portion effective de l'énergie nécessaire au fonctionnement normal des appareils polyphasés d'utilisation, et qu'en général l'énergie transmise se partage à peu près également entre les divers courants. Dans le cas du système monocyclique tel qu'il est ici décrit, au contraire, deux seulement des conducteurs et le courant alternatif simple qu'ils portent agissent dans la distribution ou la transmission de l'énergie quand le système fonctionne normalement. L'autre ou les autres conducteurs dans ce fonctionnement normal ne font que fournir une f. é. m. déphasée, sans avoir réellement de part active au transport de l'énergie. Ce résultat est obtenu par un réglage approprié des f. é. m. et des résistances, tant inductives que non inductives, des divers circuits.

Dans un système polyphasé ordinaire, cette relation est telle que, en fonctionnement normal des appareils d'utilisation polyphasés, la f. c. é. m. développée dans chaque branchement ou circuit d'utilisation est notablement moindre que la f. é. m. existant dans ces branchements ou circuits. Ce fait a pour conséquence que, dans chacun de ces circuits, il circule un courant qui consomme de l'énergie, et que cette énergie est empruntée à tous les conducteurs. Dans le système monocyclique, au contraire, la f. é. m. dans un ou plusieurs des branchements ou circuits d'utilisation est rendue effectivement égale à la f. c. é. m. engendrée dans tel ou tel branchement ou circuit en fonctionnement normal des appareils ; par suite, il ne circule pratiquement aucun courant dans ces branchements ou circuits, les f. é. m. y étant pratiquement équilibrées. Pour des variations de charge au dessus ou au-dessous de la normale, cet équilibre est rompu et le fil de compensation est alors parcouru par un courant. Ainsi, dans le cas d'une surcharge sur l'appareil en question, la f. c. é. m. tombe au-dessous de la f. é. m. dans le branchement relié au fil de compensation, de sorte qu'il en résulte un courant dans le sens de la f. é. m., c'est-à-dire que l'appareil emprunte de l'énergie au fil de compensation.

D'autre part, dans le cas d'une décharge anormale de l'appareil d'utilisation, la f. c. é. m. s'y élève au dessus de la f. é. m. et il en résulte, dans le sens de cette dernière, un courant qui fournit de l'énergie au fil de compensation. Ce fil agit ainsi comme intermédiaire possible de transfert et d'égalisation de charge sur toute l'étendue du système.

La f. é. m. décalée dans le fil de compensation peut être empruntée à la machine même qui fournit le courant alternatif aux conducteurs alternatifs simples, ou bien elle peut être demandée à une machine indépendante. Il est par le fait indifférent d'employer tel ou tel moyen pour maintenir le décalage de f. é. m., que ce soit par l'action d'une source agissant conjointement avec la source principale de courants alternatifs simples, ou par celle d'une source complètement distincte, ou encore par celle d'un ou de plusieurs des appareils mêmes de translation. Ainsi, certaines classes de dispositifs de translation, tels que des moteurs à bobines décalées, sont aptes à fournir par leur fonctionnement normal la f. é. m. déphasée,

Digitized by Google

en empruntant aux conducteurs alternatifs simples leur énergie de fonctionnement.

L'invention réside moins dans le type ou le montage des appareils employés que dans la juste proportion donnée aux forces qui y sont mises en œuvre et aux résistances opposées à ces forces, de manière à aboutir à une condition normale d'équilibre statique ou de compensation, en ce qui concerne le fil de compensation et les éléments en connexion directe avec lui.

La figure 9 représente schématiquement un système de distribution auquel cette méthode est applicable et qui comprend un grand nombre de détails ci-dessus décrits et illustrés. — Dans d'autres illustrations annexées à la spécification, on voit un système semblable au précédent, mais dans lequel la f. é. m. déphasée est empruntée directement à la source principale de courants alternatifs simples, un autre dans lequel elle est obtenue par l'action des organes de translation eux-mêmes, un troisième dans lequel elle est fournie par un moteur-générateur et enfin, un qui emploie un générateur triphasé.

Dans cette figure 9 G est un alternateur garni d'une bobine d'induit *g* et, comme précédemment, d'une bobine additionnelle supplémentaire *g'*, décalée d'une fraction de période (un quart, de préférence) par rapport à la bobine principale, et reliée par une de ses extrémités à la partie médiane de la bobine principale et par son autre extrémité à une troisième bague collectrice. Le générateur représenté est compound : il a une bobine inductrice F directement connectée au circuit alternatif simple à travers un commutateur redresseur C; une résistance R shunte la rupture du commutateur pour prévenir les étincelles; l'autre bobine inductrice F' est excitée par une machine indépendante E.

Le circuit 4-5 comporte un transformateur alternatif simple et un circuit dérivé, qui emprunte son énergie d'alimentation uniquement à la bobine génératrice principale *g* du générateur; 6-7 est en connexion avec un moteur d'induction M dont un enroulement inducteur avec bobines principales et supplémentaire est monté exactement comme ceux du générateur G, les fils de courants alternatifs simples 6 et 7 aboutissant à la bobine principale *m* du moteur, et le fil de compensation 8 à la bobine supplémentaire *m'*. Ces bobines peuvent être supposées agir sur un induit à circuit fermé de la façon habituelle, et, quand le moteur part du repos, les f. é. m. déphasées fournies à ses bobines décalées donnent le couple nécessaire au démarrage. Quand le moteur est en marche, il se développe une f. c. é. m. dans toutes ses bobines, et la f. c. é. m. entre les fils 6 et 8 et entre 7 et 8 est la résultante des

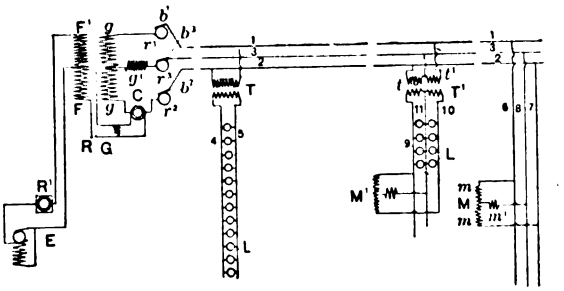


Fig. 9.

f. c. é. m. engendrées dans les bobines supplémentaires *m m'*.

Le sens et la grandeur du courant qui circule dans les différentes ramifications du circuit du moteur dépendent de la relation entre les f. é. m. et les f. c. é. m. dans les branchements ou circuits respectifs. En proportionnant convenablement les enroulements du générateur ou du moteur par un bon ajustage de l'impédance des divers circuits, on peut égaliser réellement les f. é. m. et c. é. m. dans l'un quelconque des branchements quand le moteur fonctionne à vitesse et sous charge normales. Le moteur M est représenté directement relié aux conducteurs principaux et au troisième fil; mais on peut, si l'on veut, ajouter des transformateurs, comme on le voit sur le circuit 9-10-11.

Des brevets sollicités en novembre 1894 sont relatifs à un moteur monocyclique. Ce

Digitized by Google

moteur est schématiquement représenté dans la figure 10. Son organe primaire est formé d'enroulements principaux et transversaux m et m'; la bague collectrice r^2 est reliée à une ligne qui connecte, par exemple, au générateur une bobine décalée par rapport à celle du courant alternatif simple circulant dans les deux lignes extérieures représentées.

La figure 11 représente trois moteurs monocycliques montés sur un circuit alternatif simple, avec leurs bobines transversales reliées à

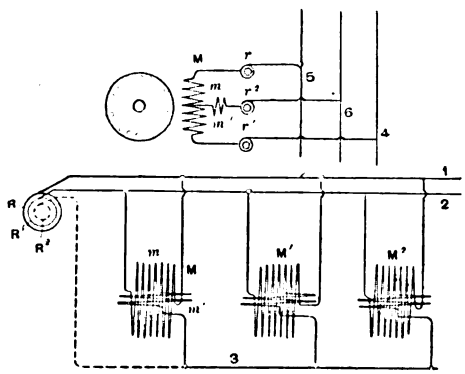


Fig. 10 et 11.

un fil de compensation 3. Quand les moteurs fonctionnent normalement, le fil de compensation ne porte effectivement aucun courant. Des courants peuvent, par contre, passer, par ce fil, d'un moteur à un autre si les charges en sont inégalement réparties ou si un ou plusieurs moteurs démarrent ou marchent à des allures autres que leur allure normale. Au démarrage d'un moteur de ce type, il faut laisser sans excitation le champ de la machine jusqu'à ce que l'induit ait atteint sa vitesse de régime, suivant la pratique ordinaire actuelle avec différentes formes de courants polyphasés.

(*A suivre.*) E. BOISTEL.

SUR LA FORME D'ÉQUILIBRE D'UN CONDUCTEUR FILIFORME FLEXIBLE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE [1]

III. PROBLÈME INVERSE

36. Le problème que nous nous étions posé d'abord est le suivant :

Trouver la forme d'équilibre du fil conducteur dans un champ magnétique déterminé d'avance.

Mais les résultats que nous avons obtenus renferment aussi la solution du problème inverse :

Trouver la distribution du champ magnétique qui fera prendre au fil conducteur une forme d'équilibre déterminée d'avance.

Ce problème est évidemment susceptible d'une infinité de solutions, car la forme d'équilibre du fil ne dépend que de la valeur et de la direction du champ aux points occupés par le fil. Si nous ne changeons rien au nombre et à la direction des lignes de force magnétique aux points de l'espace occupé par le fil, il nous sera loisible de modifier comme nous le voudrons la distribution magnétique en tous les autres points de l'espace, sans que la forme d'équilibre du fil en soit changée.

La marche à suivre pour résoudre le problème est tout indiquée :

Dans le système d'équation (8) du § 6, nous considérerons x, y, z comme des fonctions connues, et l, m, n, H, comme des fonctions inconnues. D'ailleurs, les fonctions devront satisfaire à la loi de continuité

$$\frac{dL}{dx} + \frac{dM}{dy} + \frac{dM}{dz} = 0, \qquad (37)$$

en tous les points de l'espace où nous supposerons qu'il n'existe pas de masses magnétiques.

Nous donnerons quelques exemples d'application.

[1] Voir l'*Éclairage électrique* du 20 avril; p. 112.

Digitized by Google

37. *Exemple.* Supposons qu'il s'agisse de déterminer le champ magnétique qui fasse prendre à un fil conducteur la forme d'une *certaine hélice tracée sur un cylindre dont la section soit une spirale logarithmique.*

Prenons l'axe du cylindre pour axe des z; soit

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2},$$

et supposons que l'hélice soit donnée par le système d'équations :

$$\rho = e^{\psi},$$
$$z' = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

dans lesquelles e représente la base des logarithmes népériens.

Si σ représente l'arc de la section droite du cylindre, on aura

$$d\sigma^2 = d\rho^2 + \rho^2 d\psi^2 = 2d\rho^2;$$

et comme on a

$$d\sigma^2 + dz^2 = ds^2,$$

on obtiendra, d'après la valeur de z'

$$ds^2 = 4d\rho^2,$$

d'où

$$\rho = \frac{s}{2},$$

et

$$\psi = \log \text{nép}\, \rho = \log \text{nép}\, \frac{s}{2}.$$

Les coordonnées x, y, z en fonction de l'arc s de la courbe seront, par conséquent

$$x = \frac{s}{2} \cos \log \text{nép}\, \frac{s}{2},$$
$$y = \frac{s}{2} \sin \log \text{nép}\, \frac{s}{2},$$
$$z = \frac{s}{\sqrt{2}},$$

On calculera ensuite leurs dérivées première et seconde prises par rapport à s :

$$x' = \frac{1}{2} \cos \log \text{nép}\, \frac{s}{2} - \frac{1}{2} \sin \log \text{nép}\, \frac{s}{2},$$
$$y' = \frac{1}{2} \sin \log \text{nép}\, \frac{s}{2} + \frac{1}{2} \cos \log \text{nép}\, \frac{s}{2},$$
$$z' = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

$$x'' = -\frac{1}{2s} \sin \log \text{nép}\, \frac{s}{2} - \frac{1}{2s} \cos \log \text{nép}\, \frac{s}{2},$$
$$y'' = \frac{1}{2s} \cos \log \text{nép}\, \frac{s}{2} - \frac{1}{2s} \sin \log \text{nép}\, \frac{s}{2},$$
$$z'' = 0.$$

On aura donc, en rétablissant les notations primitives plus simples

$$x = \rho \cos \psi,$$
$$y = \rho \sin \psi,$$
$$z = \frac{s}{\sqrt{2}},$$
$$x' = \frac{x - y}{s},$$
$$y' = \frac{x + y}{s},$$
$$z' = \frac{1}{\sqrt{2}},$$
$$x'' = -\frac{y + x}{s},$$
$$y'' = -\frac{y - x}{s},$$
$$z'' = 0,$$

et les équations (8) du § 6 pourront s'écrire comme suit :

$$\frac{\frac{y + x}{s^2}}{\frac{M}{\sqrt{2}} - N\frac{y + x}{s}} = \frac{\frac{y - x}{s^2}}{N\frac{x - y}{s} - \frac{L}{\sqrt{2}}} = \frac{0}{L\frac{x + y}{s} - M\frac{x - y}{s}} = \frac{i}{F};$$

on en déduit d'abord

$$L = \frac{x - y}{x + y} M, \qquad (58)$$

puis

$$N = \frac{M\sqrt{x^2 + y^2}}{x + y} + \frac{F}{i\sqrt{2}\sqrt{x^2 + y^2}}, \qquad (59)$$

et par suite l'équation de continuité du champ magnétique deviendra

$$\frac{2y}{x + y^2} M + \frac{x - y}{x + y} \frac{dM}{dx} + \frac{dM}{dy} + \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{x + y} \frac{dM}{dx} = 0. \qquad (60)$$

L'intégrale de cette dernière équation aux dérivées partielles

$$M = \text{fonction de } x, y, z,$$

combinée avec les deux équations précédentes déterminera le champ magnétique.

On voit que la question est susceptible d'un nombre illimité de solutions.

Digitized by Google

La plus simple de ces solutions sera celle qui sera fournie par l'intégrale particulière

$$M = 0$$

de l'équation (60).

On aura donc, pour équation du champ magnétique

$$L = 0,$$
$$M = 0,$$
$$N = \frac{F}{i\sqrt{2}\sqrt{x^2 + y^2}}.$$

38. *Autre exemple.* — Proposons-nous de déterminer le champ magnétique qui fasse prendre à un fil conducteur la forme représentée par le système d'équations

$$z = 0$$
$$2y = \sqrt{2x(1 - 2x)} - \arcsin\sqrt{1 - 2x},$$

Ainsi qu'on le voit aisément, la courbe située dans le plan des xy est entièrement comprise entre les droites représentées par les équations

$$x = 0. \qquad x = \frac{1}{2}.$$

Elle est composée d'un nombre infini de branches parallèles entre elles, et distantes de longueurs $\frac{\pi}{2}$ suivant la direction de l'axe des y. L'une des branches part du point représenté par

$$x = 0. \qquad y = -\frac{\pi}{4},$$

où la tangente est parallèle à l'axe des y; la courbe se rapproche continuellement de l'axe des x, pour s'arrêter au point

$$x = \frac{1}{2}, \qquad y = 0.$$

où la tangente est parallèle à l'axe des x.

On déduira des équations de la courbe

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\sqrt{1 - 2x}}{2x}\ ;\ dz = 0;$$

et par suite

$$ds = \frac{dx}{\sqrt{2x}},$$

d'où l'on déduit

$$s = \sqrt{2x},$$

et par suite

$$x = \frac{s^2}{2},$$

et

$$y = \frac{s\sqrt{1 - s^2}}{2} - \frac{1}{2}\arcsin\sqrt{1 - s^2},$$

Dérivons deux fois les équations par rapport à s; nous obtiendrons

$$x' = s,$$
$$y' = \sqrt{1 - s^2},$$
$$z' = 0,$$
$$x'' = 1,$$
$$y'' = \frac{-s}{\sqrt{1 - s^2}},$$
$$z'' = 0,$$

et par suite les équations générales d'équilibre (8) pourront s'écrire

$$\frac{-1}{N\sqrt{1 - s^2}} = \frac{\frac{s}{\sqrt{1 - s^2}}}{Ns} = \frac{0}{L\sqrt{1 - s^2} - Ms} = -\frac{i}{F},$$

d'où l'on déduit

$$L = \frac{s}{\sqrt{1 - s^2}}\,M,$$
$$N = \frac{F}{i\sqrt{1 - s^2}},$$

ou, en fonction des coordonnées rectangulaires

$$L = \frac{\sqrt{2x}}{\sqrt{1 - 2x}}\,M,$$
$$N = \frac{F}{i\sqrt{1 - 2x}}.$$

La condition de continuité du champ magnétique donne par conséquent

$$\frac{x}{\sqrt{2x(1 - 2x)^3}}\,M + \frac{\sqrt{2x}}{\sqrt{1 - 2x}}\frac{dM}{dx} + \frac{dM}{dy} = 0.$$

L'intégrale de cette équation aux dérivées partielles combinée avec les deux équations précédentes, déterminera le champ.

La solution la plus simple sera encore fournie par l'intégrale particulière

$$M = 0,$$

Digitized by Google

ce qui donne pour les équations du champ

$$L = 0,$$
$$M = 0,$$
$$N = \frac{F}{i\sqrt{1 - 2x}}.$$

OSC. COLARD,
Ingénieur au service technique des Télégraphes de Belgique.

LE SYSTÈME

HYDRO-ÉLECTROTHERMIQUE

"HOHO ET LAGRANGE"

POUR LES TRAVAUX MÉTALLURGIQUES

REMARQUES PRÉLIMINAIRES

L'électricité nous a déjà fourni des moyens de communication, de réduction métallurgique, d'éclairage, de transmission de force; depuis quelque temps le problème de son emploi comme moyen de production de chaleur pour les usages industriels a été étudié et des résultats plus ou moins satisfaisants ont été obtenus par plusieurs systèmes.

C'est la dernière application, celle de la production de la chaleur par la conversion directe de l'énergie électrique, qui forme le sujet de cet article.

Le moyen employé pour transformer l'énergie électrique en énergie calorifique consiste toujours dans l'intercalation, dans le circuit actif, d'une résistance électrique qui, lors du passage de l'énergie électrique, devient le siège d'un développement de chaleur, localisée au point de résistance et dont la quantité dépend de l'énergie en watts absorbée.

SYSTÈMES ACTUELS POUR LA PRODUCTION DE CHALEUR PAR L'ÉLECTRICITÉ

Les systèmes suivants ont été appliqués à l'industrie, avec plus ou moins de succès.

1° Les *Fourneaux électriques* pour la réduction métallurgique des minerais, tels que ceux de Siemens, Cowles, Parker et autres.

En pratique, ces fourneaux dépendent de l'emploi d'un arc passant à travers le minerai à réduire, contenu dans un récipient réfractaire et adiathermique, où se produit, en même temps que l'action de l'arc, une action électrolytique, qui facilite le procédé de réduction; l'espace d'air entre les particules et entre les électrodes opposées, constitue dans l'espèce la résistance dans le circuit qui cause la production de la chaleur.

Un courant direct d'une force électromotrice considérable et d'une grande intensité est requis dans ce système.

2° *L'emploi de la chaleur de l'arc électrique* opérant sur le métal ou matière à traiter et permettant d'obtenir la fusion locale. Ce système a été élaboré par de Meritens, Werdemann, Bénardos, Howells et autres; sa forme présente est connue sous le nom de procédé de Bénardos. Il est appliqué d'une façon restreinte, mais un bon nombre d'installations fonctionnent avec succès en Angleterre. Dans ce système, l'espace d'air à travers lequel passe l'arc constitue la résistance dans le circuit qui produit la chaleur.

Un courant continu d'au moins 150 volts et d'une intensité considérable, de 100 ampères ou plus, est nécessaire pour appliquer ce système avec succès.

3° *L'emploi de courants intenses*, c'est-à-dire l'emploi d'une grande quantité d'électricité avec une faible force électromotrice, forcée de passer à travers les pièces métalliques à chauffer, tenues en contact par la pression l'une contre l'autre. Ce point de contact constitue le point de résistance où l'action de chauffe commence, et, comme la résistance augmente avec la température, les métaux en contact sont rapidement portés à la température de soudure ou de fusion; en les joignant par pression, — ce qui se fait souvent automatiquement, — l'on obtient une soudure en bout.

C'est le système Thomson; il a été mis en pratique en Angleterre et il est employé en Amérique sur une large échelle.

Ce système demande *l'emploi d'un courant alternatif*, lequel, en passant par un

Digitized by Google

transformateur dans l'appareil à souder, produit *un courant secondaire d'une très faible force électromotrice et d'une grande intensité.*

Pour les opérations ordinaires, on emploie des courants primaires de 300 volts et 100 à 150 ampères.

4° *Le système hydro-électrothermique* que je décrirai spécialement, est le dernier moyen de transformation de l'énergie électrique en énergie calorifique. Il est basé sur une action peu connue et il peut être d'une très grande valeur dans certaines branches de l'industrie.

Le dispositif employé consiste en un bain électrolytique, *dans lequel un courant d'électricité de force électromotrice considérable est conduit, à travers l'électrolyte, du pôle positif, qui forme le revêtement du bain et qui présente une grande surface, au pôle négatif qui est formé du métal ou de toute autre matière à traiter et qui est d'une dimension relativement restreinte.*

Par l'action électrolytique, l'hydrogène est rapidement développé au pôle négatif et forme une gaine gazeuse adhérente autour de ce pôle; comme les gaz sont de très mauvais conducteurs d'électricité, une très grande résistance se trouve intercalée en ce point dans le circuit, *entourant immédiatement l'objet à traiter. L'énergie électrique en traversant cette résistance se convertit en énergie calorifique et celle-ci est communiquée au métal ou à tout autre objet qui forme le pôle négatif.*

C'est ce caractère si frappant qui constitue la nouveauté et l'essence du système hydro-électrothermique. Voir une pièce de fer ou d'autre métal plongée dans une cuve d'un liquide, apparemment inerte, s'y entourer immédiatement d'une flamme et s'y trouver portée en quelques secondes à la température de soudure ou de fusion, est suffisant pour provoquer l'intérêt du spectateur le plus indifférent et le moins instruit; mais pour un esprit éclairé, le phénomène qui se produit possède un grand intérêt, et lui indique des applications très importantes en matière industrielle.

HISTORIQUE DE L'INVENTION

Avant de traiter les applications techniques du système, l'historique de son développement est ici à sa place.

L'histoire des recherches connues qui furent faites au sujet du phénomène qui constitue la base de cette invention, est très brève et peut être résumée comme je le fais ci-dessous.

Davy, Hare, Foucault, Grove, Gassiott, de la Rive, Wartmann, Despretz, Van der Willingen et autres, ont tous observé, de 1840 à 1880, que si des fils de *métal très minces* étaient plongés dans un bain électrolytique et y formaient une électrode, un phénomène lumineux s'y produisait.

Planté, après son invention des batteries secondaires, démontra le premier, nota et expliqua l'effet calorifique ainsi que les effets lumineux, vers le commencement de 1875. Planté poussa ses expériences sur le phénomène jusqu'à un voltage de plus de 1 500 volts, et il basa sur celles-ci sa théorie de la « foudre globulaire ».

Slouginoff en 1880 et Colley en 1881, répétèrent ces expériences. Violle et Chassagny en 1886, firent des expériences avec un fil de platine de 1/4 de millimètre de diamètre, immergé comme électrode négative dans une solution d'acide sulfurique, pour mesurer la chute de potentiel au contact de cette électrode, et obtinrent quelques données qu'ils enregistrèrent avec soin.

La connaissance scientifique du phénomène était dans cette phase lorsque les inventeurs observaient le phénomène et, ne pouvant trouver à peine que quelques notes scientifiques sur ce sujet, se mirent à étudier la question ; ils établirent graduellement les détails du phénomène qui se présente, donnèrent l'explication précise de celui-ci par la gaine gazeuse, et le développèrent dans un sens pratique, créant ainsi le système connu sous nom de « système hydro-électrothermique ».

Digitized by Google

DESCRIPTION SCIENTIFIQUE DU SYSTÈME

Le phénomène qui se produit peut être résumé comme suit :

Si une électrode négative de surface petite relativement à celle de l'électrode positive est plongée dans un liquide quelconque employé comme électrolyte et si la force électromotrice du circuit est graduellement augmentée, les phases du phénomène qui se présentent sont :

1° Phénomène électrolytique ordinaire jusqu'à 3 volts, dépendant de la nature de l'électrolyte employé.

2° Ébullition et mouvement du liquide autour de l'électrode, avec petites étincelles, de 3 à 30 volts ; courant irrégulier.

3° Ébullition, apparition lumineuse plus constante autour de l'électrode, et présence d'une gaine gazeuse plus ou moins adhérente, de 30 à 80 volts ; courant très irrégulier.

4° Le phénomène lumineux devient stable ; l'intensité du courant devient constante ; cette intensité a diminué considérablement à cause de la résistance de la gaine gazeuse, qui est maintenant stable et entoure complètement l'électrode. Celle-ci subit l'action calorifique.

5° Lorsque la force électromotrice est augmentée, les autres éléments étant égaux, l'action calorifique devient plus intense et les substances les plus réfractaires sont aisément fondues.

Cette action est modifiée par l'étendue de la surface de l'électrode immergée et exposée à l'action du courant électrique.

L'électrode positive peut être de toute matière conductrice de l'électricité et l'électrolyte peut consister en toute solution liquide conductrice ; le phénomène se produit exactement, dans tous les cas, de la manière décrite ci-dessus.

Lorsque des solutions aqueuses sont employées et que la température atteint environ 90 centigrades, le phénomène est troublé par le dégagement de la vapeur d'eau ; en pratique, le bain ne doit pas dépasser 60 à 70° de température.

Certains liquides, tels que la glycérine, permettent un développement égal de chaleur avec une force électromotrice et une dépense d'énergie moindres que pour l'eau.

Ordinairement un tel liquide peut être rendu conducteur par l'addition d'une solution de sel ou d'acide.

Deux phénomènes très remarquables, qui semblent tous deux destinés à jouer un rôle important dans de nombreuses applications industrielles de l'invention, sont :

1° Si une partie quelconque de l'objet formant l'électrode négative est isolée, la partie ainsi protégée n'est affectée d'aucune façon ; grâce à ce fait, on peut réaliser la « chauffe locale » d'un caractère unique, qui est tout à fait impossible par tout autre système connu.

2° Si un objet, de dimensions relativement petites, immergé dans le bain est approché de l'électrode négative, mais sans toutefois la toucher, un arc ou quelque chose de ce genre se forme entre eux ; la gaine gazeuse lumineuse se forme autour de la surface entière de l'objet (si la force électromotrice du circuit est suffisante), et l'objet subit l'action calorifique, comme s'il constituait le pôle direct du circuit.

Un phénomène similaire, mais produisant un résultat différent, se présente si l'objet traité est transformé en pôle positif au lieu d'être le pôle négatif ; l'oxygène développé agit comme un fort oxydant. Lorsque des courants alternatifs sont employés, le phénomène général demeure le même.

APPLICATIONS PRATIQUES DU SYSTÈME

L'appareil spécial requis pour l'emploi du procédé « hydro-électrothermique » est très simple et peu coûteux ; il consiste en un récipient de métal ou doublé de métal, d'environ 60 centimètres de profondeur et 80 centimètres de diamètre ; la paroi intérieure est recouverte d'une plaque métallique formant l'électrode positive du circuit. Ce récipient est rempli d'une solution acide, neutre ou saline, solution aqueuse ou autre, de plus

Digitized by Google

ou moins de densité et par conséquent conductrice de l'électricité; ce liquide constitue l'électrolyte dans laquelle l'action se produit. Avec cela il suffit d'une simple paire de pinces isolées (ou d'un autre outil très primitif) au moyen desquelles la pièce de métal ou autre objet à traiter est tenue. Ces pinces sont reliées au pôle négatif du circuit actif.

L'énergie électrique peut être obtenue d'une source quelconque, que ce soit directement par une dynamo ou par une batterie d'accumulateurs.

La dynamo doit être du type shunt ou compound, et le circuit doit être sous le contrôle de l'opérateur au moyen d'un commutateur disjoncteur, placé près du bain.

L'énergie requise dépend de *l'étendue de la surface de l'objet à traiter immergée dans l'électrolyte et exposée à l'action électrique.*

La pratique a démontré que la force électromotrice la plus convenable, en général, est de 125 à 200 volts au maximum.

L'application d'une puissance de 35 000 à 40 000 watts, pendant 30 à 50 secondes, portera aisément les deux bouts d'une barre de fer de 4 centimètres de diamètre à la température de soudure, et chauffera une surface d'environ 50 à 60 centimètres carrés en un même laps de temps.

Au lieu d'une dynamo seule, il est généralement préférable pour un travail pratique établi sur une grande échelle, d'employer une batterie en parallèle avec la dynamo.

(*A suivre.*) GOOCH.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Instruments de mesure des coefficients d'induction.

Le secohmmètre de MM. Ayrton et Perry sous sa forme originale permettait de mesurer une self-induction comme le produit d'un temps par une résistance. De là le nom de l'instrument. Un pont était formé avec trois résistances et la bobine de self-induction. L'instrument fermait périodiquement la pile sur le pont, pendant une fraction de chaque période, et immédiatement après le galvanomètre était mis en court circuit. En réglant convenablement la vitesse on pouvait maintenir l'aiguille du galvanomètre à zéro, et calculer, à l'aide de cette vitesse connue et des résistances du pont, le coefficient de self-induction.

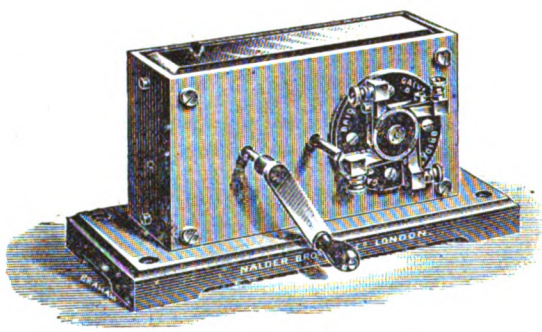


Fig. 1. — Secohmmètre Ayrton et Perry.

Tel que le construisent aujourd'hui MM. Nalder brothers et C°, l'instrument n'est plus à proprement parler qu'un commutateur servant à comparer deux self-inductions ou deux capacités, en renversant périodiquement les communications de la pile et du galvanomètre. Il comprend, à cet effet, deux commutateurs tournants munis chacun de quatre balais. Les deux commutateurs sont fixés sur le même arbre. Dans la figure 1 (1) on aperçoit l'un d'eux. Les groupes de balais peuvent être réglés de façon que les deux jeux d'inversions soient simultanés ou décalés l'un par rapport à l'autre d'une certaine fraction de tour. A l'aide d'une manivelle on peut imprimer à l'instrument des vitesses variant de 200 à 6 000 inversions par minute.

La figure 2 indique le montage à employer. La bobine à self-induction occupe le bras L_1

(1) *The Electrician.*

Digitized by Google

d'un pont, le bras L_2 étant formé par un étalon de self-induction. On règle les résistances r_1 et r_2 jusqu'à l'équilibre en régime permanent

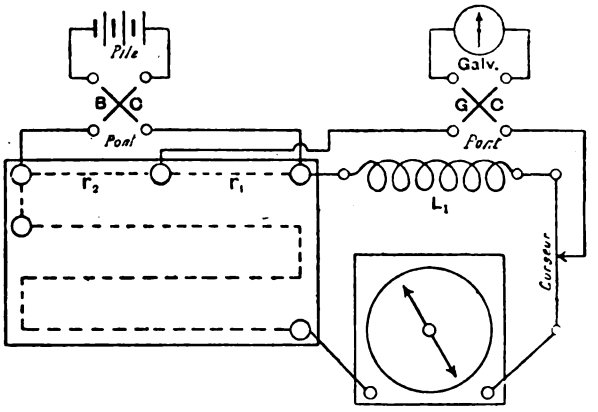


Fig. 2. — Connexion des appareils pour la mesure des coefficients de self-induction.

constaté en faisant tourner lentement l'appareil. Le réglage final se fait sur le fil à curseur.

Puis on fait tourner rapidement les commutateurs et on rétablit l'équilibre en tournant le bouton de l'étalon variable (fig. 3). Pour la

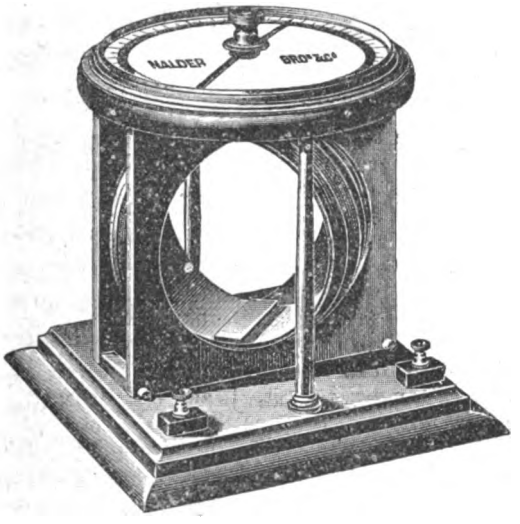


Fig. 3. — Étalon de self-induction.

lecture finale il convient de se placer dans des conditions de grande sensibilité en employant la plus grande vitesse de rotation. r_1 et r_2 étant les résistances du pont donnant l'équilibre avec un courant continu, on a, pour l'équilibre en régime variable

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{r_1}{r_2}$$

L'étalon variable (fig. 3) consiste en deux bobines coaxiales reliées en série. La petite bobine est mobile à l'intérieur de la grande et peut être inclinée sur le plan de celle-ci d'un certain angle correspondant à un coefficient de self-induction indiqué sur le cadran. L'échelle de l'étalon va habituellement de 0,004 à 0,04 henry.

A. H.

Commutateur Theermann (1894).

Ce commutateur, spécialement étudié pour les lampes à incandescence, se compose d'un balancier c (fig. 1 et 2) qui, dans la position

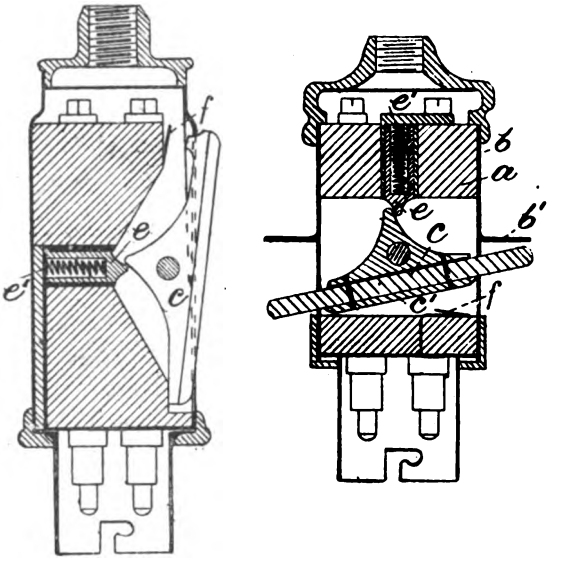


Fig. 1 et 2. — Commutateur Theermann.

figurée, sépare la borne e de $c_1 f$; tandis que, si on le fait basculer de gauche à droite, il réunit ces deux bornes, et reste appuyé dans cette position par le ressort e' de e : des gardes b' limitent les mouvements de c.

Ces balanciers peuvent être, comme l'indiquent les figures 1 et 2 disposées parallèle-

Digitized by Google

ment ou perpendiculairement au culot *a* de la lampe.

C'est un dispositif pratique et très simple.

G. R.

Commutateurs Dorman et Smith (1895).

Dans ces différents types de commutateurs, les contacts se font par le bras A_1A_2, (fig. 1, 2

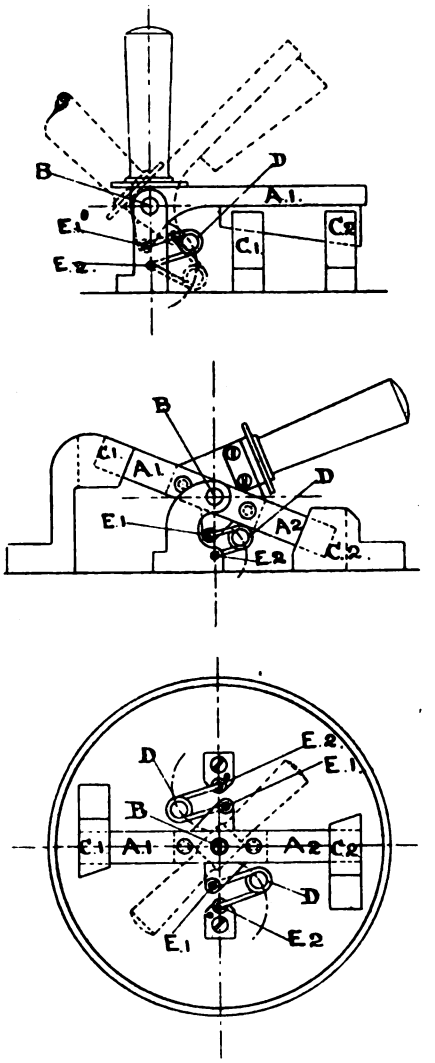


Fig. 1, 2 et 3. — Commutateurs Dorman et Smith (1895).

et 3) pivoté en B, fermant, entre les bornes C_1 et C_2, un circuit que le ressort E_1DE_2 tend à ouvrir vivement, dès que l'on a commencé à séparer les contacts, puis à maintenir fermé après leur clôture. Les articulations E_1E_2 de D sont disposées à cet effet comme l'indiquent clairement les figures.

En figures 4 et 5 la manette F et l'étoile C

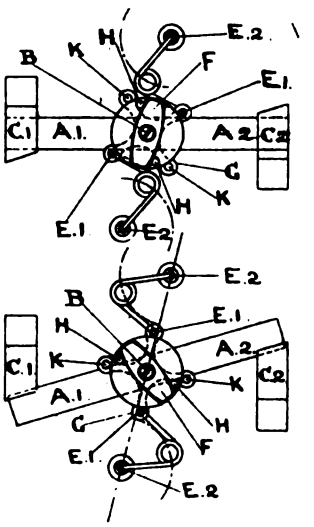


Fig. 4 et 5. — Commutateurs Dorman et Smith (1895).

sont fixés sur l'axe B : F commandant C par les taquets HH, et C entraînant A_1A_2, par KK. Les ressorts D sont articulés sur C en E_1E_1, puis aux points fixes E_2E_2.

G. R.

Soudure électrique des rails en Amérique.

Les phénomènes d'électrolyse sur les conduites d'eau et de gaz voisines des lignes de tramways électriques, qui, à juste titre, préoccupent tant actuellement le monde scientifique américain, ont abouti, on le sait, à des essais de contact absolu des rails entre eux, contrairement aux errements antérieurs qui voulaient qu'on laissât toujours entre les abouts des rails un intervalle destiné à parer aux dilatations résultant des élévations de la température, de même que les trous des éclisses sont ovalisés pour permettre les contractions. Si ce procédé réussissait, on voit que, du même coup, seraient supprimés les goujons de jonction et l'emploi de fils de cuivre, sauf dans les cas où des feeders de retour en connexion

Digitized by Google

avec le circuit de retour sont indispensables.

Ce procédé revient pratiquement à l'emploi de rails continus sans joints d'aucune nature. Il est déjà de pratique générale en Amérique de poser les rails sans laisser aux joints le moindre jeu d'extension, et dans les rues pavées on a ainsi obtenu des joints presque parfaits. La Compagnie Johnson, de Johnstown, en Pensylvanie, qui s'est particulièrement vouée à cette étude, a été plus loin, et, après une série inépuisable d'essais, a entrepris de souder les rails entre eux, au lieu de les relier par des éclisses. Son procédé est doublement intéressant au point de vue électrique en ce que cette soudure est faite électriquement.

Dans l'année 1894, il a été ainsi soudé plus de 64 km. de voie en diverses villes des États-Unis et dans des conditions locales différentes. La Compagnie et les exploitants pour lesquels elle effectuait ce travail n'étaient pas sans appréhensions sur les résultats de la contraction pouvant résulter d'un hiver rigoureux. Il est encore trop tôt pour parler positivement de ce que démontrera l'expérience de cette année ; on peut dire cependant que, jusqu'ici les résultats paraissent des plus encourageants. Là où l'on s'attendait à voir 8 ou 10 p. 100 des joints manquer par contraction, on croit maintenant qu'on n'atteindra pas 3 p. 100. Cette proportion se confirmerait-elle finalement qu'elle laisserait hors de doute le succès pratique de la soudure électrique des rails.

En vue de la saison prochaine, il a été fait de grands préparatifs pour assurer sur une grande échelle la réussite et la rapidité de l'opération. On a d'ailleurs perfectionné les dispositions prises pour parer à tous les efforts internes, et on espère dès lors surmonter les dernières difficultés. Il est presque certain que l'obtention d'un produit régulier rendra l'opération assez économique pour en mettre la dépense hors de question.

Dans les premiers essais, voici comment on opérait : on enlevait les éclisses, on nettoyait les bouts des rails à l'aide d'une meule d'émeri montée sur un flexible, on forçait entre les rails un morceau d'acier mince et on reliait ceux-ci par une paire d'éclisses de la forme indiquée par la figure 1.

Une voiture automobile, spécialement construite pour cette application et appelée voiture à souder, était alors amenée sur la voie et effectuait la soudure en empruntant au fil de trolley le courant qu'elle transformait en un courant alternatif sous basse tension. Pendant l'opération, les éclisses étaient serrées par des mâchoires disposées à cet effet et soudées séparément à chaque rail. Les bouts des rails n'étaient pas soudés l'un à l'autre ; mais les éclisses, qui avaient 10 cm. de haut sur 17,5 cm. de long et 2,5 cm. d'épaisseur et présentaient la forme indiquée sur la

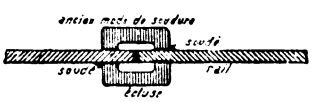


Fig. 1. — Ancien mode de soudure des rails.

figure, étaient reliées aux rails, ce qui nécessitait deux opérations pour chaque joint. La première ligne sur laquelle on opéra était ancienne et mal assise, et l'on reconnut immédiatement que la plupart des joints soudés manquaient, non pas à la soudure, mais juste au-dessous et au-dessus.

Cette expérience amena la Compagnie Johnson à recourir à une autre manière de faire qui, paraît-il, a bien été appliquée depuis avec grand succès.

Les nouveaux essais ont été entrepris en février 1894 sur une ligne de chemin de fer qui comporte un grand nombre de courbes ; on commença par courber et poser les rails, pour les souder ensuite sur place. On jugea prudent de bien soutenir la voie et niveler la ligne avant de commencer à souder les joints ; autrement le poids de la voiture à souder aurait fait fléchir le milieu des rails en relevant leurs extrémités, ce qui aurait surélevé les joints soudés. La voiture à souder comportait deux moteurs électriques et tout l'équipement d'appareils de régulation de vitesse et de

Digitized by Google

démarrage habituel aux voitures de tramway. Le courant, venant du fil de trolley, passait à travers un interrupteur automatique de circuit, un commutateur, un ampèremètre et un rhéostat de démarrage, dans un premier transformateur ou moteur-générateur qui transformait en courant alternatif le courant continu arrivant sous 500 volts. La fréquence de ce courant alternatif était de 73 à 74 périodes par seconde. Ce courant alternatif passait alors, à travers un interrupteur et une bobine d'induction régulatrice à noyau de fer mobile, dans un nouveau transformateur qui le convertissait en un courant de grande intensité, sous 3 ou 4 volts de pression seulement, traversant la machine à souder. Pour la facilité du travail, cette machine était suspendue à une grue. L'enroulement secondaire du transformateur consistait en une seule spire d'une bande de cuivre massive aboutissant aux contacts de cuivre entre lesquels s'effectuait la soudure (fig. 2). La distance entre ces contacts

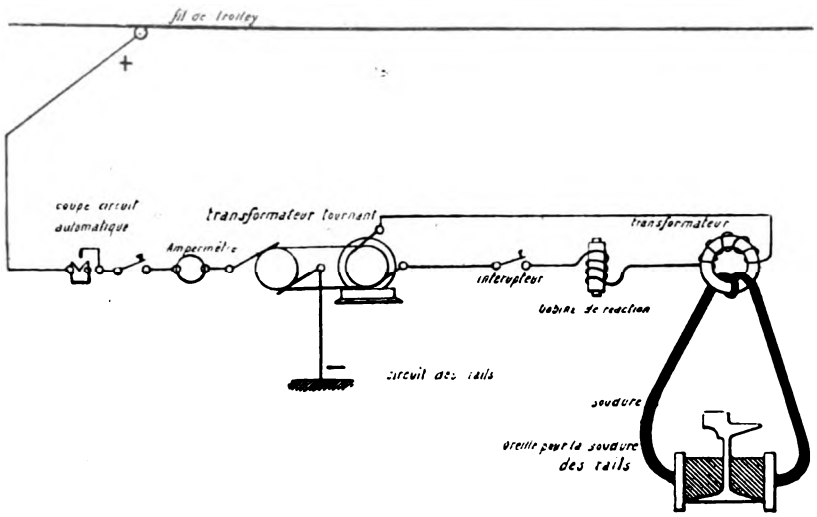


Fig. 2. — Disposition schématique des appareils employés pour la soudure.

était réglée au moyen d'un montage à vis qui permettait d'appliquer instantanément une pression très élevée sur la soudure. La voiture à souder contenait également un moteur pour actionner la grue et un autre qui entraînait une pompe forçant de l'eau froide dans les bras creux de la machine à souder. Le poids de cette voiture complètement équipée était de 30 tonnes environ. Elle était précédée d'une voiture auxiliaire portant deux moteurs électriques qui actionnaient des meules à émeri montées sur flexibles et servant à polir, avant la soudure, les bouts des rails où devait être fait le joint. Voici le mode d'opérer :

On fait butter l'un contre l'autre les deux bouts de rails en enfonçant un coin dans le joint précédant immédiatement celui à souder. La voiture est alors amenée au-dessus du joint en question, la soudure se faisant de l'arrière de manière à ne pas obliger à repasser par-dessus un joint encore chaud. Les joues des rails sont polies à la roue d'émeri sur une longueur de 5 cm. de part et d'autre du joint. Le joint est ensuite emboîté dans un moule en bronze qui maintient les rails en bonne position pour la soudure. Les deux oreilles d'acier, 1 et 2 de la figure 3, sont placées de chaque côté du joint, reposant sur le patin du rail qu'elles enveloppent partiellement, et finalement les pièces de contact sont vissées sur elles. Le circuit électrique de la bobine secondaire du tranformateur est ainsi complété et on y applique progressivement le courant. Une fois la température de soudure atteinte,

Digitized by Google

les mâchoires de la machine à souder sont fortement serrées l'une contre l'autre, et font pénétrer l'acier fondu dans le joint qui sépare les bouts des rails. On place ensuite de même les oreilles supérieures, 3 et 4 de la figure 3, et l'on procède pour eux de la même manière. Avant de lancer le courant, on commence par mettre des morceaux de charbon de bois sur le champignon du rail pour empêcher le joint de doucir. Les oreilles une fois soudées, on abat au marteau les bavures et surépaisseurs ; ce marteau est compris dans les appareils à souder. Sur la ligne à laquelle il est fait ici allusion, les soudures sont tellement bien exécutées qu'il est presque impossible dans la plupart des cas de distinguer l'emplacement des joints. Cette manière de procéder fait pénétrer dans le joint des rails assez d'acier pour constituer une soudure intime ; par surcroît de sécurité, les oreilles sont également soudées aux joues des rails.

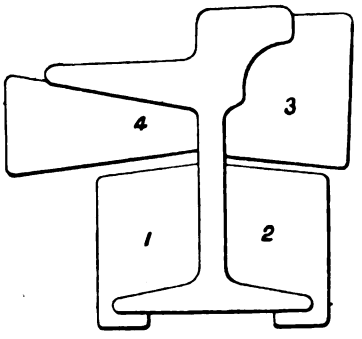


Fig. 3. — Coupe d'un rail et des pièces accessoires servant à la soudure.

La plus grande partie du temps pris par l'opération est employée à préparer les joints, à faire mouvoir la machine et à installer l'appareil à souder. Le temps moyen nécessaire à la confection d'un joint est de 12 à 15 minutes, et l'on prétend que la dépense en est de 15 à 20 francs par joint.

Le courant est, comme nous l'avons dit, emprunté au fil de trolley sous une tension moyenne de 500 volts et atteint en moyenne 250 ampères pendant 2 à 3 minutes. Il est transformé en courants alternatifs, de 300 volts de force électromotrice moyenne et de 650 ampères, qui, après avoir passé par la bobine de réaction variable à volonté, pénètrent dans le circuit primaire du transformateur de soudure, suspendu extérieurement à la voiture. L'appareil à souder comporte deux transformateurs à isolement à l'huile et se manœuvre sans aucun danger de commotion, même par une pluie battante. La tension employée pour le courant secondaire de soudure est de 3 à 4 volts, et, si l'on tient compte des pertes dans les différentes transformations, le courant de soudure atteint probablement de 40 000 à 50 000 ampères. Aucun effet de dilatation n'a été observé au mois de juillet, époque où M. Dawson, à qui nous empruntons, dans l'*Engineering*, une partie de cet article, a visité la ligne.

La voie est regarnie de ballast aussitôt que possible après l'achèvement de la soudure ; mais en diverses circonstances on a laissé à découvert pendant plusieurs jours 100 à 150 m. de voie soudée, sans le moindre inconvénient. On a même, à titre expérimental, laissé ainsi à découvert plus de 5 km. de voie double, et les résultats obtenus ont donné toute satisfaction.

L'une des Compagnies de chemins de fer électriques de Brooklyn vient d'adopter sur une très grande échelle ce système de rails soudés et elle aura ainsi bientôt 160 km. de ligne d'un seul tenant.

L'appareil à souder est ici un perfectionnement de celui précédemment employé. Tout le matériel est renfermé dans deux voitures au lieu d'une. La première contient le moteur-générateur. Le courant alternatif qui en vient sous 300 volts de tension, arrive au transformateur réducteur de potentiel et au soudeur situés dans la seconde voiture la plus voisine du joint. La pression hydraulique est substituée au montage à vis pour le maintien de l'emboîture en bronze servant au soudage. La largeur des oreilles de soudure a également été augmentée, et les rails sont polis à l'émeri sur une longueur de 9 cm. de part et d'autre

Digitized by Google

du joint. Contre le champignon du rail on dispose un bourrelet en matière non conductrice de la chaleur, de manière à réduire les pertes à cet égard. En posant les rails on amène au contact deux joints sur trois, en laissant tous les trois rails un intervalle de 1,5 mm., et, quand on arrive à la soudure du joint ainsi espacé, on introduit entre les deux bouts une section de rail qui assure la continuité. Les rails sont également connectés entre eux transversalement tous les 200 m., de manière à assurer au courant un bon circuit de retour; à cet effet on soude de rail à rail, en travers de la voie, une barre d'acier plat de 3,75 sur 6,25 cm. Quand la ligne est à double voie, les rails intérieurs de chaque voie sont aussi reliés entre eux tous les 200 m.

D'après les expériences faites par la Compagnie qui exploite ces procédés, un rail de 35 kg. doit pouvoir résister à un effort de 68 000 kg. correspondant à celui qu'exercent sur lui les variations de température de l'hiver le plus froid à l'été le plus chaud ; et une soudure électrique ne manquerait que sous un effort de 125 000 kg. On peut, dans des conditions convenables, faire quatre joints à l'heure. La conductibilité du joint est aussi bonne que celle du rail lui-même.

La soudure électrique remplacera-t-elle tous les autres modes de jonction? On ne saurait encore l'affirmer; elle n'a pas encore reçu la sanction de la pratique dans toutes les conditions de température et de trafic, ni sur une assez large échelle pendant une période de temps suffisante, pour qu'on puisse émettre une opinion à cet égard. L'opération en préparation à Brooklyn est attendue avec le plus vif intérêt par tous ceux qui s'occupent de traction électrique dans les villes, et ses résultats contribueront dans une large mesure aux conclusions pour ou contre la soudure. En tout cas, la Compagnie qui s'est faite le pionnier de cette étude paraît avoir grande confiance en son succès, et l'on assure qu'elle a déjà dépensé en expériences et en applications pratiques plus de trois millions de francs.

A l'appui de la confiance qu'inspire l'idée en elle-même, il faut ajouter qu'il vient de surgir un autre procédé pour arriver au même résultat de soudure des joints. Il consiste à souder ensemble ces joints en les noyant latéralement et inférieurement dans un manchon de fonte coulée. Il a été mis en œuvre sur une longueur de 5 km. de voie environ à Saint-Louis, après avoir été produit pour la première fois en octobre dernier à la réunion des Sociétés atlantiques de tramways urbains. L'équipage mobile se compose d'une sorte de petit cubilot monté sur roues, pesant environ 3 tonnes et traîné par deux chevaux. Il est muni d'une légère soufflerie à vapeur et chauffé au pétrole. Lorsqu'il s'agit de faire un joint, on commence par l'entourer d'un moule en fonte enduit de graphite et préalablement chauffé au rouge sombre. Avant d'appliquer ces moules, les extrémités des rails sont nettoyées et polies, et, si elles ne sont pas au contact, on force dans l'intervalle une petite section de rail. Ces préparatifs faits et le moule mis en place, on y verse la fonte à l'aide d'une cuiller. Les sections que présentent les joints ainsi faits et rompus intentionnellement semblent indiquer que l'union de la fonte avec l'acier des rails est aussi intime que celle réalisée par la soudure électrique. Les moules sont fixés aux rails par des emboîtages à vis et maintiennent le joint en place jusqu'à ce qu'on puisse enlever le moule refroidi. L'espace laissé vide au haut du rail entre le moule et ce rail est rempli par du sable de fonderie. Une bande de fer fixée au-dessus du champignon du rail, à l'endroit du joint, empêche la fonte d'y arriver et de s'écouler entre les bouts des rails. Une équipe de six à huit hommes et un cubilot feraient de 60 à 140 joints par journée de dix heures. Comme nous l'avons dit, les moules sont chauffés avant de servir et les extrémités de rails se trouvent échauffées par l'application des moules portés au rouge avant qu'on n'y verse la fonte. Il faut compter sur 10 minutes environ entre l'achèvement de l'opération et le moment où l'on peut tirer les moules.

Pour empêcher une contraction ou une ex-

Digitized by Google

tension trop considérable, on traite chaque joint et on le laisse refroidir complètement avant de passer aux autres. Les joints ainsi faits pèsent 54 kg. et couvrent quatre trous de boulons d'éclisses, ce qui leur donne à peu près 40 cm. de longueur. Le prix d'un joint de ce genre serait, dit-on, de 15 fr. environ.

Il est trop tôt pour exprimer une opinion sur ce procédé ; il semble cependant *à priori* beaucoup plus difficile d'obtenir la soudure de la fonte et de l'acier par ce dernier mode d'opérer, qu'entre acier et acier à la température beaucoup plus élevée que permet d'atteindre la soudure électrique. Comme contre-partie, le second procédé aurait naturellement pour lui le bon marché de l'appareillage de mise en œuvre, comparativement à celui nécessité par la soudure électrique.

Tout en admirant l'élan intellectuel et financier avec lequel sont suivies en Amérique les conceptions entreprises qui visent un but d'un puissant intérêt, nous ne pouvons que nous associer aux sages réserves de notre savant et prudent confrère.

Perturbations téléphoniques dues aux distributions à courants alternatifs, par E. W. Mix.

Quelques perturbations observées à Odessa l'été dernier montrent bien l'importance de l'action inductive des courants alternatifs sur les réseaux téléphoniques.

Les lignes téléphoniques sont toutes aériennes. Les dynamos à la station centrale sont de deux types, l'un produisant des courants de 40 périodes par seconde, l'autre de fréquence 125. Les tensions primaires sont respectivement de 1 800 et de 2 000 volts.

Les machines de fréquence 40 étaient seules employées pour l'éclairage du théâtre municipal avant l'époque où les perturbations ont été observées. La distribution secondaire du théâtre fonctionnait à 60 volts, et absorbait une puissance de 80 kilowatts. On avait toujours pu déceler une légère induction sur les lignes téléphoniques passant près du théâtre, mais ces effets étaient insignifiants. Ce n'est que lorsque les dynamos à fréquence 125 furent branchées sur le réseau d'éclairage du théâtre que ces effets devinrent importants sur certaines lignes voisines.

Tont d'abord, on crut trouver la source des perturbations dans l'induction produite par les conducteurs primaires aériens, mais les fils téléphoniques les plus affectés croisaient ces conducteurs à angle droit. Le groupe de 20 lignes téléphoniques atteint par l'induction passait d'un bâtiment à un autre à environ 20 mètres au-dessus du sol, mais à près de 10 mètres des murs du théâtre, c'est-à-dire à 30 mètres du centre de gravité du réseau d'éclairage. La distance entre les fils téléphoniques et les conducteurs primaires au point de croisement est d'environ 7 mètres.

Comme on pensa que les circuits secondaires pouvaient être les seules causes des troubles, on chargea ces circuits avec des rhéostats à eau. Le primaire se trouvait ainsi chargé plus encore que de coutume; mais dans ces conditions les perturbations cessaient d'exister.

On découvrit alors que beaucoup de circuits, et principalement ceux qui servaient à l'éclairage des quatre galeries, étaient disposés en boucles, c'est-à-dire que le courant entre à une extrémité d'une galerie et quitte les lampes à l'autre extrémité; l'effet inductif à distance est donc le même que celui d'un conducteur unique traversé par un courant d'intensité égale à celle du groupe de lampes. Les quatre circuits produisaient un champ magnétique très intense dont l'axe coïncidait avec celui du théâtre et qui était traversé par le groupe de fils téléphoniques.

Pour examiner la distribution de ce champ magnétique, on s'est servi d'une bobine formée d'environ 100 mètres de fil enroulé en couronne de 1 m. 20 de diamètre, et reliée à un récepteur. En promenant cette bobine dans toutes les parties du théâtre on a pu se rendre compte de la direction des lignes de force et de l'intensité de champ aux divers endroits.

Quand tous les circuits étaient en fonctionnement, l'effet perturbateur se faisait sentir

Digitized by Google

particulièrement sur le toit en fer du théâtre tout autour du groupe de fils téléphoniques. Le toit en fer concentrait évidemment les lignes de force et les dirigeait sur les fils passant auprès.

Dans un autre théâtre des effets analogues ont été observés, et provenaient également de circuits disposés en boucle. Le remède à appliquer consiste évidemment dans la suppression de la disposition en boucle.

L'importance de l'induction électrostatique s'est également révélée dans quelques-unes de ces expériences. Dans une partie de la ville où les fils téléphoniques n'avaient été jusqu'alors le siège d'aucune perturbation électrique, on observa des effets d'induction après l'installation d'une ligne primaire suivant sur une distance de 350 mètres un chemin parallèle à un groupe de lignes téléphoniques. Les conducteurs primaires fixés sur des poteaux en bois à 7 mètres au-dessus du sol étaient à une distance d'au moins 20 mètres des fils téléphoniques suivant l'autre côté de la même rue. Il n'y avait pas encore de transformateurs sur les lignes, et au moment des observations un seul conducteur de la ligne double primaire était relié à la génératrice. Les effets d'induction ne pouvaient donc être que de nature électrostatique, l'isolement des lignes étant d'ailleurs parfait.

On fit alors une autre expérience : un circuit primaire fut relié à l'un des pôles de la génératrice, et un autre circuit allant dans une tout autre direction fut mis en communication avec l'autre pôle. Il en résulta une si forte induction dans les fils téléphoniques que toute communication devint impossible. L'isolement des lignes reliées à leurs transformateurs était d'environ 300000 ohms. Un des circuits avait 8 km. de longueur, l'autre 5 km.

Les conclusions sont que l'induction électrostatique est tout aussi capable de troubler le fonctionnement des lignes téléphoniques que l'induction électromagnétique, et qu'il est nécessaire, pour l'éviter, de tenir les deux fils d'un circuit le plus près possible l'un de l'autre, afin que leurs actions se neutralisent. Dans l'induction électrostatique la terre et les constructions servent de conducteurs intermédiaires de grande capacité, et tendent à étendre l'aire d'influence des charges électriques.

A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Nouvel appareil pour mesurer le pouvoir inducteur spécifique des solides et des liquides par H. Pellat (1).

Cet appareil, dont nous donnerons bientôt une description détaillée, se compose de deux disques horizontaux A et A′, solidaires l'un de l'autre et entourés d'anneaux de garde *a* et *a′*; ils sont portés par l'un des bras du fléau d'une balance et communiquent avec la cage de l'appareil. De part et d'autre, sont disposés deux plateaux B et B′, communiquant entre eux, mais isolés du reste de l'appareil ; le plateau B′ est fixe tandis que B est porté par une vis micrométrique. La tige reliant les deux plateaux mobiles porte un repère que l'on vire avec un microscope ; l'appareil est réglé de telle sorte que l'image de ce trait coïncide avec celle de la croisée des fils du réticule du microscope quand le plateau A est exactement dans le plan de son anneau de garde.

Pour déterminer le pouvoir inducteur spécifique d'un corps, on introduit entre A*a* et B, une lame de ce corps de 7 à 8 mm. d'épaisseur. Tous les plateaux étant au même potentiel, on fait la tare de manière à amener A dans le plan de son anneau de garde. Par le jeu d'un commutateur on établit ensuite une différence de potentiel entre A et A′ d'une part, et B et B′ d'autre part; on voit la balance basculer. En réglant convenablement la hauteur du plateau

(1) *Comptes rendus*, t. CXX, p. 773; 8 avril 1895.

Digitized by Google

B on arrive à trouver deux positions très voisines telles que le jeu du commutateur fait trébucher en sens inverse la balance ; on note la position moyenne. On retire alors la lame et on cherche de la même manière la position de B, correspondant à l'équilibre. Si e est la quantité dont il a fallu rapprocher B et si c est l'épaisseur de la lame diélectrique, le pouvoir inducteur spécifique K de cette lame est donné par la relation

$$K = \frac{c}{c - e} k,$$

k étant le pouvoir inducteur de l'air.

J. B.

Variation séculaire et éphémérides du magnétisme terrestre, par le général Alexis de Tillo (1).

Au moyen de 21 cartes isogoniques, s'étendant de l'année 1540 à l'année 1885, et de 7 cartes isocliniques (1600 à 1885) l'auteur a dressé des tables contenant les valeurs de la déclinaison et de l'inclinaison pour 504 points. Ces tables lui ont servi ensuite à tracer des courbes de la variation séculaire de la déclinaison et de l'inclinaison, en les rectifiant d'après l'ensemble du système respectif et, par des interpolations et des extrapolations approximatives, il a déterminé les éléments pour les époques : 1550, 1600, 1650, 1700, 1750, 1800, 1850 et 1900. Les résultats obtenus sont consignés dans des tableaux qui embrassent la surface du globe entre les latitudes 80° nord et 60° sud ; deux extraits relatifs, l'un à l'Europe, l'autre à l'océan Atlantique au sud du golfe de Guinée, sont communiqués.

A l'aide de ces éphémérides, l'auteur a combiné les déclinaisons avec les inclinaisons pour dresser des courbes de la marche séculaire de la direction de l'aiguille aimantée aux 504 points choisis. L'ensemble du phénomène séculaire est représenté par des courbes irrégulières, qui forment des 8, en traits généraux, des lemniscates à boucles de différentes grandeurs. Le sens de la marche dépend de la partie de la courbe. Les périodes sont encore difficiles à déterminer.

Les courbes dont il a été question permettent d'évaluer, quoique grossièrement, pour certaines régions, la position de l'aiguille aimantée pour l'époque 1950. Le tableau suivant donne les éléments approximatifs pour l'Europe.

ÉLÉMENTS APPROXIMATIFS DU MAGNÉTISME TERRESTRE POUR L'ÉPOQUE 1950

Longit. E de Gr..	0°		10°		20°		30°	
Latitudes Nord .	D.	I.	D.	I.	D.	I.	D.	I.
60°	+8°	+71°	+4°	+70°	−3°	+71°	−7°	+71°
50°	+8	+65	+5	+65	−1	+64	−4	+64
40°	+8	+55	+4	+36	+1	+54	−2	+56

Dans ce tableau, les déclinaisons occidentales et les inclinaisons boréales sont positives.

J. B.

Sur les produits de combustion de l'arc électrique, par N. Gréhant (1).

D'après cette Note, parmi les gaz qui se dégagent des charbons maintenus incandescents par l'arc électrique, se trouve l'oxyde de carbone.

Le dispositif employé est très simple ; autour d'une lampe électrique, dont les charbons donnent une lumière très vive et constante, on disposait une caisse de bois de petites dimensions, ayant 43 cm. de longueur, 29 cm. de largeur, 60 cm. de hauteur, et une capacité de 75 litres ; deux ajutages métalliques étaient fixés sur deux parois opposées, l'un à 2 cm., l'autre à 32 cm. du fond de la boîte qui était fermée à peu près complètement par un couvercle traversé par le corps cylindrique de la lampe électrique.

Trois expériences ont été faites. Elles consistaient à faire respirer par un chien, pendant une demi-heure seulement, les gaz résultant de la combustion des charbons mélangés avec l'air extérieur aspiré par les mouvements

(1) *Comptes rendus*, t. CXX, p. 809 ; 16 avril 1895.

(1) *Comptes rendus*, t. CXX, p. 815 ; 16 avril 1895.

Digitized by Google

respiratoires à travers des soupapes hydrauliques; l'inspiration avait lieu dans la caisse, l'expiration au dehors. Le sang artériel du chien, pris dans l'artère carotide était analysé au grisoumètre avant et après chaque expérience.

Dans la première expérience, le chien était placé dans la caisse après une demi-heure de marche de l'arc électrique; l'analyse donna 1/1400 pour la proportion d'oxyde de carbone renfermé dans l'air respiré par l'animal.

Dans la seconde, le chien était placé dans la caisse dès le moment de l'allumage de l'arc; la proportion d'oxyde de carbone était alors 1/3000, proportion plus faible que la précédente, ce gaz n'ayant pu s'accumuler dans la caisse. Le dosage de l'anhydride carbonique par l'eau de baryte contenue dans un tube placé entre le foyer électrique et la soupape d'aspiration donna 1/57 pour la proportion de ce gaz, proportion 53 fois plus forte que celle de l'oxyde de carbone.

La troisième expérience, faite dans les mêmes conditions avec un autre chien, donna 1/2500 pour la proportion de l'oxyde de carbone et 1/62 pour celle de l'anhydride carbonique.

L'auteur conclut ainsi :

« Il est donc certain que les charbons de l'arc électrique dégagent de l'oxyde de carbone en petite quantité : si l'éclairage a lieu dans les salles qui sont de faibles dimensions, comme certaines salles contenant des machines productrices d'électricité, le dégagement du gaz toxique dans l'air confiné peut contribuer à produire, chez les ouvriers, les maladies souvent très graves qui ont été constatées. On doit donc conseiller l'établissement d'une ventilation énergique, qui entraînerait au dehors tous les produits de la combustion ».

J. B.

Déperdition électrique par l'illumination de corps médiocrement conducteurs, par Edouard Branly (1).

L'étude de la déperdition électrique par l'éclairement n'a été faite que pour les métaux; l'observation des conducteurs de conductibilité médiocre, tels que le bois, le marbre, le verre chauffé, conduit à quelques résultats intéressants.

Le mode d'observation est resté le même que celui de mes premières recherches. Le conducteur était un disque circulaire vertical, de 15 cm. de diamètre, soutenu par la tige coudée d'un électroscope à manchon isolant de soufre; la charge avait lieu par l'un des pôles d'une pile de 500 volts dont l'autre pôle était relié au sol; un microscope à oculaire micrométrique servait à suivre avec précision la chute de la feuille d'or.

I. *Illumination par un corps chauffé au rouge sombre.* — D'après mes recherches antérieures (1), un disque métallique électrisé négativement se décharge rapidement en face d'un cylindre de laiton porté au rouge (le cylindre remplaçant la cheminée de verre d'un fort bec de gaz); la décharge est très lente si le disque est positif; devant un cylindre de laiton, recouvert de litharge en poudre portée au rouge, un disque de métal électrisé se décharge rapidement s'il est positif, et très lentement s'il est négatif. Un disque de bois poli ou non poli, ou de bois verni se comporte exactement comme le métal. Une plaque de verre poli, chauffée à 100° environ (par le rayonnement d'un bec de gaz) et devenue ainsi conductrice, éprouve les mêmes déperditions que le bois et le métal.

En résumé, c'est à la surface du corps incandescent que se rapporte le rôle principal; la nature du conducteur illuminé paraît être sans effet.

II. *Illumination par des rayons très réfrangibles.* — Ici la déperdition du corps illuminé dépend de la nature de sa surface.

La source éclairante a été quelquefois un arc voltaïque jaillissant entre deux charbons

(1) *Comptes rendus*, t. CXX, p. 829; 16 avril 1895.

(1) E. Branly. *C. R.*, t. CXIV, p. 831 et p. 1531; 4 avril et 27 juin 1892. — *La Lum. Elect.* t. XLIV, p. 437.

Digitized by Google

à âme d'aluminium ; ce fut, le plus souvent, l'étincelle d'un condensateur placé en dérivation sur le circuit induit d'une bobine d'induction.

Dans ce dernier cas, pour avoir des effets continus, l'interruption avait lieu par les vibrations d'une forte barre d'acier solidement encastrée dans un bloc de laiton et attirée par un électro-aimant que traversait le courant inducteur. Trois bobines d'induction, de dimensions moyennes, réunies en série par leurs fils primaires, étaient associées en quantité par leurs fils secondaires ; leur courant induit chargeait une grosse jarre dont les décharges rapides éclataient entre deux pointes d'aluminium dans une boîte métallique. La lumière sortait par une ouverture de 15 mm. de diamètre que fermait une mince lame de quartz pour éviter les effets perturbateurs des gaz de la source. La boîte métallique était en communication parfaite avec le sol et aucune influence électrique n'avait lieu sur le disque au moment des décharges.

Voici les principaux résultats obtenus :

1° *Déperdition négative plus rapide.* — Un disque de bois poli ou non poli : chêne, hêtre, noyer, buis, etc., un disque de marbre poli ou non poli offrent une déperdition très nette pour les deux électricités ; si le disque est négatif, la déperdition est plus rapide que s'il est positif, mais la différence est beaucoup moins accusée qu'avec des disques métalliques et surtout des disques métalliques polis. Le carton, la terre cuite, le verre chauffé à 100° se comportent comme le bois et le marbre.

2° *Déperdition positive plus rapide.* — La déperdition positive est rapide, tandis que la négative est faible pour le bois verni ou frotté avec de l'huile ou ciré avec de la paraffine ou enduit d'une très légère couche de suif. Des plateaux métalliques suiffés ne donnent aussi qu'une déperdition insensible s'ils sont négatifs, mais leur perte positive est très vive.

3° *Confirmation du rôle de la nature de la surface.* — Avec un plateau de bois poli, la déperdition négative est supérieure à la positive, mais la différence est peu accentuée ; si on le recouvre par frottement d'une couche extrêmement mince de plombagine, la déperdition négative devient immédiatement beaucoup plus forte que la positive ; nous avons vu plus haut que c'est l'inverse s'il est ciré avec de la paraffine.

Un plateau métallique suiffé ne donne lieu qu'à une déperdition négative insensible, tandis que la perte positive est rapide ; si l'on vient à répandre sur le suif à travers un tamis une couche de cuivre porphyrisé, la perte négative l'emporte de beaucoup ; si au lieu de cuivre porphyrisé, on verse de l'aluminium pulvérisé, les déperditions positive et négative deviennent presque égales.

4° *Ralentissement de la déperdition par l'accroissement de résistance du quartz et de l'air.* — L'ouverture pratiquée dans la boîte à étincelles, en face du conducteur éclairé, étant fermée par une lame de quartz, cette lame ainsi que l'air qui la sépare du disque est traversée par l'électricité qui s'échappe et leur ensemble offre une conductibilité décroissante (1). Par suite, des mesures faites à des intervalles de temps égaux montrent une déperdition de plus en plus lente. En recouvrant la face du quartz qui regarde le disque d'une toile métallique à fils assez fins pour n'arrêter que peu de lumière, cette toile

(1) La diminution progressive de la conductibilité des isolants solides, tels que le quartz, est bien connue ; on peut aussi la démontrer pour l'air.

Ayant formé un condensateur à plateaux horizontaux distants d'environ 0 mm., 5, le plateau supérieur est relié au sol et le plateau inférieur à l'un des pôles d'une pile de 300 éléments. Le plateau inférieur, porté par la tige d'un électroscope, se décharge dès qu'on supprime la communication avec la pile, mais, si l'on répète l'expérience, la décharge se ralentit et finit par devenir extrêmement lente.

On peut opérer avec un galvanomètre. Avec des plateaux de 0 m., 20 de diamètre et un écartement de 0 mm., 5, le condensateur est intercalé dans le circuit de la pile de 300 éléments en même temps qu'un galvanomètre sensible ; on voit le courant de passage à travers la lame diminuer progressivement.

Digitized by Google

sert de passage à l'électricité perdue et le décroissement de la déperdition se trouve presque annulé.

Sur la mesure de la conductibilité du bismuth placé dans un champ magnétique, par Albert Griffiths (1).

En 1890, Lenard (2) signalait cette particularité que la mesure de la conductibilité du bismuth placé dans un champ magnétique intense donne, lorsqu'on opère avec un courant alternatif et un téléphone, une valeur plus grande que lorsqu'on emploie un courant constant et un galvanomètre.

L'auteur a vérifié ce fait. Il se servait de la disposition expérimentale employée par Kohlrausch pour la mesure de la conductibilité des électrolytes. Le fil du pont était enroulé sur un cylindre ; pour éliminer les erreurs pouvant provenir de la self-induction de ce fil, on faisait varier la résistance étalon de comparaison de telle sorte que l'équilibre du pont corresponde au milieu du fil enroulé. Le courant alternatif était fourni par une bobine d'induction munie d'un interrupteur particulier qui sera décrit plus tard.

L'explication de cette augmentation apparente du bismuth lorsqu'on emploie un courant alternatif, est assez délicate. On sait bien qu'un conducteur offre à un courant alternatif une résistance plus grande qu'un courant continu, mais pour que cette augmentation soit sensible avec les métaux ordinaires il faut que le nombre des alternances du courant alternatif soit beaucoup plus grand que celui des alternances du courant employé par Lenard (environ 100). Aussi celui-ci explique-t-il le résultat qu'il a trouvé en admettant qu'il se superposait accidentellement au courant alternatif, qu'il employait son courant d'environ 10 000 alternances.

L'auteur a voulu vérifier l'exactitude de l'hypothèse de Lenard, et pour cela il a cherché à éliminer les courants accidentels de grandes fréquences qu'admet ce physicien.

Cette élimination peut être faite en intercalant dans le courant un fil de substance magnétique de longueur et de diamètre convenables. En effet, si l est la longueur du fil, μ sa perméabilité magnétique pour une aimantation circulaire, R sa résistance pour un courant constant, sa résistance R′ pour un courant alternatif de fréquence $\frac{p}{2\pi}$ est, d'après lord Rayleigh (1),

$$R' = R\left\{1 + \frac{1}{12}\frac{p^2 l^2 \mu^2}{R^2} - \frac{1}{180}\frac{p^4 l^4 \mu^4}{R^4}\right.,$$

ou approximativement

$$R' = R\left\{1 + \frac{1}{12}\frac{p^2 l^2 \mu^2}{R^2}\right\}.$$

On voit donc, bien que cette formule approchée ne soit pas rigoureusement applicable dans ce cas, que si $\frac{p^2 l^2 \mu^2}{R^2}$ est grand, la résistance R′ pourra être considérablement plus grande que R. Par conséquent, il sera possible, en intercalant un conducteur convenablement choisi dans le circuit, de diminuer beaucoup l'intensité des courants de hautes fréquences sans diminuer d'une façon sensible celle des courants de basse fréquence.

L'auteur prenait un fil de fer de longueur $l = 4675$ cm. et ayant une résistance de 1845 ohm ; si l'on prend $\mu = 100$, on trouve, pour une fréquence $\frac{p}{2\pi} = 10\,000$,

$$\frac{p^2 l^2 \mu^2}{R^2} = 250 \text{ environ.}$$

Ce fil était placé entre le circuit secondaire de la bobine d'induction (dont la résistance était de 24 ohms) et le pont servant à mesurer la résistance du bismuth. M. Griffiths constata que dans ces conditions, si ce pont est réglé de façon que l'intensité du son rendu par le téléphone soit minima, l'intensité ne

(1) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, 233-246; mars 1895.

(2) Lénard. *Wied. Ann.*, t. XXXIX, p. 619; 1890.

(1) Lord Rayleigh, *Phil. Mag.*, t. XXI, p. 387 ; 1886.

Digitized by Google

change pas d'une manière appréciable quand on enlève le fil. L'hypothèse servant de base à l'explication de Lenard ne paraît donc pas accceptable.

L'emploi du téléphone pour reconnaître l'équilibre d'un pont présente un inconvénient : le son du téléphone ne cesse jamais ; il passe seulement par un minimum au moment où l'équilibre est atteint et ce minimum est ordinairement assez difficile à distinguer. Pour éviter cet inconvénient l'auteur remplaça le téléphone par un galvanomètre, tout en faisant encore usage d'un courant alternatif. La lame vibrante de l'interrupteur du courant primaire de la bobine produisant ce courant, portait, outre la pointe destinée à effectuer les interruptions, un fil en forme de U renversé dont les deux extrémités affleuraient les surfaces de deux bains de mercure. Les connexions du galvanomètre et du pont étaient telles que le circuit galvanométrique ne se trouvait fermé que quand les deux branches du fil plongeaient dans le mercure.

En mesurant avec cette disposition la résistance d'un fil de maillechort, l'auteur trouva la même valeur qu'avec un courant constant. Mais si l'on essayait de mesurer ainsi la résistance d'une spirale de bismuth placée dans un champ magnétique intense, on trouvait des valeurs différentes de celles qu'on obtenait avec un courant constant. Ces valeurs dépendaient de la fréquence du courant employé et, pour une même fréquence, ne restaient pas constantes avec le temps.

De même que les précédentes, ces expériences conduisent l'auteur à rejeter l'hypothèse de Lenard. « Puisque, dit-il, il était possible de faire des lectures et puisque 1/10000 de seconde est sans aucun doute très petit par rapport à la durée de fermeture du circuit galvanométrique, il semble extrêmement probable que la manière de se comporter de la spirale de bismuth dépend de quelque action de la fréquence que j'employais (environ 50) sur le courant alternatif. Il semble aussi que le phénomène dont le bismuth est le siège n'est pas simple, c'est-à-dire qu'il ne consiste peut-être pas entièrement en une augmentation de résistance, mais en outre en une action dépendant de la phase du courant. »

Bien que la spirale de bismuth employée ne possédât pas de self-induction, l'auteur pensa qu'il pourrait s'y passer un phénomène ayant des effets analogues à ceux d'une self-induction. Il effectua plusieurs expériences pour s'assurer s'il en était ainsi. Nous ne retiendrons que la suivante : la résistance de la spirale de bismuth était déterminée au moyen d'un courant alternatif et d'un téléphone, puis on recommençait la mesure en mettant la spirale en série avec diverses résistances. Les résultats furent les mêmes dans tous les cas. Or, si la spirale de bismuth s'était comportée comme une résistance possédant une self-induction, les résultats eussent été différents.

Ces diverses expériences conduisaient donc à abandonner l'hypothèse de Lénard, mais ne fournissaient aucune donnée permettant de la remplacer par une autre. Avant de poursuivre son travail expérimental, l'auteur chercha si quelques considérations théoriques ne pouvaient le guider. Après quelques tentatives il adopta une théorie dont les conséquences concordent assez bien avec les faits.

Cette théorie est fondée sur l'hypothèse très probable que les particules ultimes (cristaux ou molécules) d'une spirale de bismuth placée dans un champ magnétique s'aimantent sous l'action de ce champ, d'autant plus fortement que ce champ est plus intense, et sur cette autre hypothèse que, si on lance un courant alternatif dans la spirale, ces particules prendront un mouvement oscillatoire.

Soit u le déplacement d'une particule causé par le courant alternatif à l'instant t. Le mouvement oscillatoire pourra être représenté approximativement par l'équation

$$\frac{d^2u}{dt^2} + k\frac{du}{dt} + n^2u = E\cos pt, \qquad (1)$$

k étant un coefficient dépendant du frottement

Digitized by Google

et de l'amortissement, p le produit de la fréquence du courant alternatif par 2π, et n le quotient de 2π par la durée d'oscillation T de la particule, durée d'oscillation qui dépend du degré d'aimantation de la particule, de l'intensité du champ et de la structure ultime du bismuth. Une solution de cette équation est

$$u = \frac{E \sin \varepsilon}{pk} \cos (pt - \varepsilon), \qquad (2)$$

où

$$\text{tang } \varepsilon = \frac{pk}{n^2 - p^2}. \qquad (3)$$

Si l'on pose

$$\varepsilon = \frac{\pi}{2} - \alpha,$$

on a :

$$\text{tang } \alpha = \frac{n^2 - p^2}{pk}, \qquad (4)$$

et l'équation (2) peut s'écrire :

$$u = \frac{E \cos \alpha}{pk} \sin (pt + \alpha). \qquad (5)$$

Par suite de son mouvement, la particule développe une f. é. m. le long du fil et, l'amplitude de l'oscillation étant petite, on peut admettre que cette f. é. m. varie approximativement comme $\frac{du}{dt}$. L'équation (3) donne pour cette dérivée

$$\frac{du}{dt} = \frac{E \cos \alpha}{k} \cos (pt + \alpha) \qquad (6)$$

expression qui se simplifiera quand pk sera grand par rapport à $n^2 - p^2$ puisqu'alors α sera petit et qu'on pourra remplacer cos α par 1.

Nous ignorons complètement quelle valeur peut prendre n, mais comme nous savons que les oscillations d'un corps sont d'autant plus rapides que les dimensions de ce corps sont petites, nous pouvons admettre que l'on a $n > p$, de sorte que α est positif.

Désignons par K un facteur dont la valeur croît en même temps que l'aimantation de la particule, c'est-à-dire en même temps que le champ. Nous avons pour la force contre-électromotrice e_0 due aux oscillations de la particule :

$$e_0 = K \frac{E \cos \alpha}{k} \cos (pt + \alpha). \qquad (7)$$

Si donc nous représentons par $e_1 \cos pt$ la f. é. m. aux extrémités du fil de bismuth, et si nous appelons r la résistance vraie de ce fil, l'intensité i du courant qui le traverse sera donnée par l'égalité

$$ir = e_1 \cos pt - \frac{KE \cos \alpha}{k} \cos (pt + \alpha),$$

qui, dans le cas où α est négligeable, se réduit à

$$ir = \left(e_1 - \frac{KE}{k}\right) \cos pt.$$

On pourra donc prendre pour valeur approximative de la résistance apparente du fil de bismuth

$$r_0 = r \left(1 + \frac{KE}{k e_1}\right).$$

Elle dépendra donc des facteurs K et E. Pour simplifier, l'auteur admet que l'aimantation des particules de bismuth varie proportionnellement à la racine carrée de l'intensité F du champ magnétique, et que K est proportionnel à $\sqrt{F}$, tandis que E est proportionnel à $e_1 \sqrt{F}$. Par conséquent, si l'on désigne par q un facteur numérique, on aura pour l'expression de la résistance apparente :

$$r_0 = r (1 + qF). \qquad (8)$$

Cette expression ne s'accorde pas complètement avec les faits expérimentaux, mais elle présente cet avantage de montrer que la résistance du fil ne doit pas dépendre de la fréquence du courant alternatif si, comme on le suppose, α est négligeable, c'est-à-dire k très grand par rapport à $\frac{n^2 - p^2}{p}$.

Pour obtenir une expression concordant avec l'expérience, il faut considérer la spirale comme faisant partie d'un pont de Wheatstone, ce qui complique un peu les calculs.

Soit ABCD (fig. 1) ce pont. Le téléphone est placé en T, la spirale de bismuth dans la branche DC. Soient Y la résistance vraie de cette spirale, X celle de la branche DA, P et Q celles des deux autres branches. Nous supposerons le pont BD contenant le téléphone suffisamment résistant pour qu'on puisse consi-

Digitized by Google

dérer comme nulle l'intensité du courant qui y passe ; nous appellerons i l'intensité du courant dans ADC.

Le déplacement u d'une particule peut encore être supposée donnée par l'équation

$$\frac{d^2u}{dt^2} + k_1 \frac{du}{dt} + n^2u = k_2 i,$$

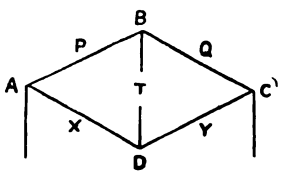


Fig. 1.

La force contre-électromotrice B due aux déplacements des diverses particules, croîtra nécessairement avec le nombre des particules, et par conséquent avec la résistance totale Y de la spirale ; on peut donc écrire

$$B = k_3 \frac{du}{dt} Y.$$

D'autre part, si nous supposons la f. é. m. en A constamment nulle et celle en C, égale à C cos pt, nous aurons :

$$i = \frac{C \cos pt - B}{X + Y} = \frac{C \cos pt - k_3 Y \frac{du}{dt}}{X + Y}.$$

Portons cette valeur de i dans l'équation différentielle et posons :

$$k_1 + k_2 k_3 \frac{Y}{X + Y} = k, \qquad \frac{k_2 C}{X + Y} = E;$$

nous obtenons :

$$\frac{d^2u}{dt^2} + k \frac{du}{dt} + n^2u = E \cos pt,$$

équation de la même forme que l'équation (1) considérée précédemment et d'où l'on déduit :

$$u = \frac{E \sin \varepsilon}{pk} \cos (pt - \varepsilon).$$

Tirant de cette égalité la valeur de $\frac{du}{dt}$ et portant dans (2), nous obtiendrons l'expression de i, ce qui permettra de calculer l'expression de la force électromotrice iX au point D. La force électromotrice en B a pour expression $\frac{P}{P+Q} C \cos pt$. En la retranchant de la précédente, nous aurons une expression de la forme

$$R \cos (pt - \alpha)$$

où

$$R^2 = \left[\frac{C}{2} - \frac{k_3 Y E \sin^2 \varepsilon}{2k} - \frac{P}{P+Q} C\right]^2 + \left[\frac{k_3 Y E \sin \varepsilon \cos \varepsilon}{2k}\right]^2$$

Le son téléphonique sera évidemment minimum en même temps que R^2, c'est-à-dire quand le premier carré de l'expression de R^2 sera nul. En écrivant cette condition et en supposant que l'équilibre du pont pour un courant constant est réalisé pour $Y = X$, on trouve pour la résistance apparente y de la spirale :

$$\frac{1 + \frac{1}{2}\frac{k_2 k_3}{k} \sin^2 \varepsilon}{1 - \frac{1}{2}\frac{k_2 k_3}{k} \sin^2 \varepsilon} X.$$

Comme E dépend de la fréquence du courant, cette expression montre que la résistance apparente dépendra, comme le veut l'expérience, de cette fréquence, à moins toutefois que l'on ait $E = \frac{\pi}{2}$.

L'auteur calcule ensuite en s'appuyant sur les considérations qui précèdent, quel doit être le rapport de la résistance Q à la résistance $P + Q$ supposée constante et constituée par un fil sur lequel se meut un contact glissant, pour que le son du téléphone ait une intensité minima. En admettant que la force contre-électromotrice due aux oscillations des particules de bismuth a pour valeur

$$\frac{1}{30} C \sin (pt - 45).$$

il trouve

$$\frac{Q}{P+Q} = 0{,}5118.$$

Dans l'hypothèse d'une expérience faite avec un courant constant, on aurait 488,2 pour la valeur de ce rapport.

En supposant le téléphone remplacé par un

Digitized by Google

galvanomètre G (fig. 2) dont le circuit est fermé d'une façon intermittente, on trouve qu'aucun courant ne passe dans le galvanomètre quand

$$\frac{P}{P+Q} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{1}{30}\frac{\sin(pt - 45°)}{\sin pt}\right).$$

D'après cette expression le rapport $\frac{P}{P+Q}$ deviendrait infini quand pt serait infiniment petit, mais pour l'établir l'auteur suppose que le circuit du galvanomètre est fermé pendant un temps infiniment court, et en réalité il ne peut en être ainsi. Si τ est la durée de la fermeture du circuit on trouve une

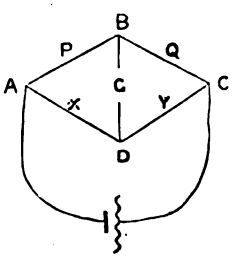


Fig. 2.

expression présentant des discontinuités pour $t = -\frac{\tau}{2}, \pi - \frac{\tau}{2}, 2\pi - \frac{\tau}{2}$, etc.

L'auteur a calculé les valeurs de ce rapport pour différentes valeurs de pt, t étant le temps qui s'écoule entre l'instant où le courant alternatif a une intensité nulle et celui où le circuit du galvanomètre est fermé. D'autre part, il a mesuré expérimentalement ce rapport en prenant comme source de courant un alternateur et en faisant varier le temps compris entre l'instant où l'intensité s'annule et celui où le circuit galvanométrique est fermé. Les valeurs trouvées ainsi concordent à peu près avec les valeurs calculées. M. Griffiths se propose de faire plus tard quelques mesures plus précises dans le but de vérifier les considérations théoriques qui précèdent.

En terminant, il signale une cause qui pourrait avoir pour effet de faire varier la résistance apparente du bismuth mesurée au moyen d'un courant alternatif et qui mériterait quelques recherches. C'est la possibilité d'une variation de la perméabilité μ du bismuth avec la fréquence du courant, variation qui a été établie pour le fer, le nickel et l'acier par Geronza et Finzi.

Enfin, ajoutons que dans ses diverses expériences, M. Griffiths a reconnu que la résistance du bismuth placé dans un champ magnétique diminue quand la température s'élève, fait déjà reconnu en 1893 par M. van Aubel sans que l'auteur en eût connaissance et signalé de nouveau récemment par M. Henderson (1).

J. B.

Variation de la résistance interne d'une pile en fonction de l'intensité du courant qui la traverse, par Henry S. Carhart (2).

On sait depuis longtemps que la résistance interne d'une pile voltaïque, maintenue à une température constante, n'a pas une valeur fixe et déterminée, mais dépend de l'intensité du courant qui la traverse. Les méthodes ordinairement employées pour mesurer cette résistance ne sont pas suffisamment sensibles pour établir cette relation avec une précision satisfaisante. Mais si l'on emploie la méthode du condensateur avec des appareils convenables pour obtenir une fermeture rapide et uniforme de la pile sur diverses résistances extérieures et pour mesurer, pendant la courte durée de la fermeture, la différence de potentiel entre les pôles de la pile, on peut obtenir des résultats représentés par une courbe bien continue.

La résistance mesurée satisfait aux équations

$$\frac{E}{R+r} = \frac{E'}{R} = I,$$

d'où l'on déduit

$$r = R\,\frac{E - E'}{E'},$$

r étant la résistance interne, E la force élec-

(1) HENDERSON. — *Phil. Mag.*, t. XXXVIII, p. 488. — *L'Eclairage Electrique*, t. II, p. 41.

(2) *Physical Review*, t. II, p. 391-393. — Mars-avril 1895.

Digitized by Google

tromotrice de la pile, E' la différence de potentiel entre ses pôles quand ceux-ci sont reliés à une résistance extérieure R. Pour déterminer la relation cherchée entre r et I, la différence de potentiel E' doit être mesurée successivement avec diverses résistances extérieures. La fermeture du circuit, la charge du condensateur, la décharge de ce condensateur dans un galvanomètre balistique et enfin la rupture du contact doivent, pour que les mesures soient comparables, être effectuées par quelque moyen mécanique de manière que toutes ces opérations aient toujours la même durée. Les effets perturbateurs de l'absorption dans le condensateur et de la polarisation dans la pile se trouvent ainsi éliminés autant qu'il est possible.

Pour réaliser ces conditions, l'auteur s'est servi d'un pendule consistant en un cadre étroit portant un couteau d'oscillation à sa partie supérieure et une lourde lentille à sa partie inférieure. Cette lentille oscille entre deux rails courbes, dont le centre se trouve sur l'axe d'oscillation du pendule, et chaque rail porte deux clefs de contact qui peuvent être fixées dans une position quelconque. Un levier vertical appuie chaque clef sur un contact inférieur ; mais quand le pendule passe, il agit sur le levier de telle sorte que la clef appuie contre un contact supérieur. Les contacts sont en platine et les supports des leviers en caoutchouc durci. Si l'on prend soin de bien ajuster les contacts et de les maintenir à l'abri de la poussière. cet appareil fonctionne d'une façon très satisfaisante.

La figure 1 montre les connexions. Les clefs K_1 et K_4 sont sur un même rail, tandis que K_2 et K_3 sont sur l'autre. Quand le levier de K_1 est soulevé tandis que celui de K_4 est abaissé, la pile B est mise en court circuit sur la résistance R. Quand le levier de K_2 est soulevé tandis que celui de K_3 est abaissé, la pile charge le condensateur C ; mais dès que le levier de K_2 est soulevé, la pile est séparée d'avec le condensateur, et ce dernier se décharge instantanément à travers le galvanomètre G. En oscillant de gauche à droite le pendule soulève les leviers. Si donc tous les leviers sont abaissés au commencement d'une oscillation, le pendule commence par fermer le circuit en soulevant K_1, puis il charge le condensateur en soulevant K_2, décharge ce condensateur en agissant sur K_3 et enfin coupe le circuit en soulevant K_4. Les leviers des clefs restent dans ces positions quand le pendule retourne en arrière et y demeurent jusqu'à ce qu'on les remette dans leurs positions initiales. Les clefs peuvent être placées aussi près les unes des autres qu'on le désire. La longueur du pendule est telle que sa durée d'oscillation est

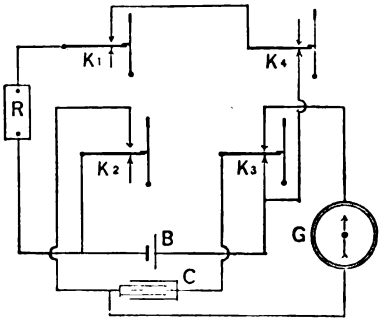


Fig. 1. — Dispositif pour la mesure de la résistance interne d'une pile.

une seconde. Par conséquent le temps pendant lequel la pile reste en circuit fermé, peut être facilement calculé. Pour obtenir l'impulsion galvanométrique proportionnelle à la force électromotrice de la pile en circuit ouvert, les clefs K_1 et K_4 sont maintenues contre les contacts inférieurs pendant l'expérience ; le pendule charge et décharge le condensateur, le circuit contenant R étant alors maintenu ouvert.

La variation de la résistance avec l'intensité du courant est principalement marquée dans le cas des piles sèches. Le tableau suivant contient les résultats d'une série de mesures faites sur une pile Gassner ayant une force électromotrice de 1 213 volts. La première colonne contient les déviations galvanométriques obtenues en chargeant le condensateur avec la force électromotrice totale de la pile ; leur comparaison montre que la

Digitized by Google

polarisation était inappréciable. La seconde colonne contient les déviations obtenues en chargeant le condensateur à l'aide de la différence de potentiel existant entre les pôles

VARIATION DE LA RÉSISTANCE INTERNE D'UNE PILE EN FONCTION DU COURANT

d_1	d_2	R	r	i
271	258	400	21,1	0,0028
	249	200	17,7	0,0056
	238	100	13,9	0,0106
	227	50	9,7	0,0203
271	223	40	8,6	0,0249
	218	30	7,3	0,0324
	212	20	5,56	0,0473
	204	15	5,93	0,0607
	194	10	3,96	0,0868
271	172	5	2,87	0,1538
	164	4	2,59	0,1838
270	153	3	2,59	0,2289

de la pile, quand celle-ci est formée sur les résistances indiquées dans la troisième colonne. La quatrième colonne donne les valeurs calculées de la résistance interne de la dernière sur les intensités du courant.

Dans la figure 2, les résistances internes

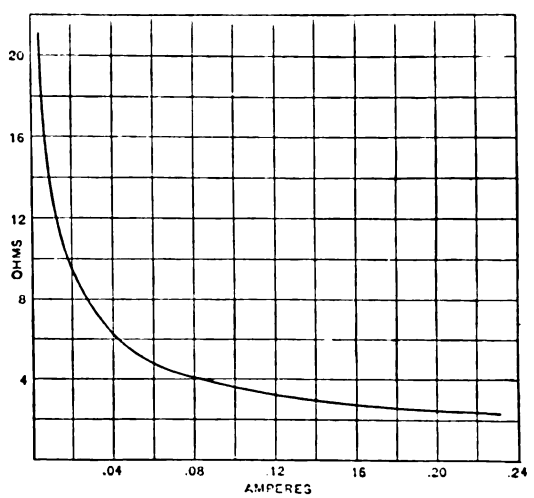


Fig. 2. — Variation de la résistance interne avec l'intensité du courant.

sont portées en ordonnées, les intensités de courant correspondantes étant portées en abscisses. On ne peut objecter que les résistances relativement faibles trouvées avec les courants intenses sont dues à la polarisation, car, même en admettant qu'une polarisation appréciable puisse se produire pendant le temps très court que met le pendule pour aller de K_1 en K_2, cette polarisation aurait pour effet de diminuer la différence de potentiel entre les pôles de la pile en court circuit, et, par conséquent, d'accroître la différence de potentiel calculée.

La pile Gassner étudiée était construite depuis longtemps et sa résistance interne était au-dessus de la moyenne ; mais d'autres piles sèches donnèrent la même courbe caractéristique, les valeurs relatives de r seulement étant changées.

Une pile Daniell montre également une diminution de la résistance interne lorsque l'intensité du courant croît ; toutefois, le décroissement est beaucoup plus petit, et la courbe se rapproche sensiblement d'une droite.

J. B.

Réfraction et dispersion des rayons de force électrique, par A. Garbasso et E. Aschkinass (1)

Il y a deux ans, M. Garbasso imaginait quelques expériences (2) dans le but de vérifier si, comme MM. Sarasin et de la Rive l'ont prétendu à la suite de leurs expériences sur la résonance multiple des ondulations hertziennes, un excitateur de Hertz donne simultanément naissance à des ondes de diverses longueurs d'onde dont l'ensemble serait analogue à l'ensemble des radiations lumineuses qui constitue la lumière blanche. Les expériences dont il est question dans cette Note découlent de la même idée.

Les auteurs se sont demandé si, par réfraction à travers un prisme, il ne serait pas possible d'obtenir la dispersion des ondes élec-

(1) *Il Nuovo Cimento*, 4e série, t. II, p. 186-190; mars 1895.

(2) GARBASSO. — Sur le phénomène de la résonance multiple (*Atti Acc. di Torino*, t. XXVIII, 1893. *Journal de Physique*, (3), t. II, p. 259; 1893).

Sur la réflexion des rayons de force électrique (*Atti Acc. di Torino*, t. XXVIII; 1893. — *La Lumière électrique*, t. XLIX, p. 489; 1893).

Digitized by Google

triques émises par un excitateur, de même qu'on obtient, dans des conditions analogues, la décomposition de la lumière blanche. Leurs premiers essais, faits sur le pétrole, leur montrèrent que, contrairement à leur attente, l'indice de réfraction a la même valeur quelle que soit la longueur d'onde des oscillations électriques employés et qu'il n'y a, par suite, aucune dispersion.

Pour expliquer cette absence de dispersion, les auteurs font intervenir la théorie de la dispersion de Helmholtz, d'après laquelle la dispersion des ondes lumineuses serait due à une réaction sur ces ondes des molécules matérielles mises en vibration par elles. Or, disent-ils, il est probable que, si les périodes d'oscillation propres des molécules matérielles sont de l'ordre de grandeur de celles des ondes lumineuses, ces molécules ne peuvent se trouver en résonance avec les ondes électriques et, par suite, les ondes électriques ne peuvent être dispersées.

Ils conclurent de là que pour obtenir la dispersion il est nécessaire de disposer à l'intérieur du corps traversé par les ondes électriques des résonateurs en résonance avec ces ondes et se trouvèrent conduits à faire des expériences avec des prismes de résonateurs.

Dans ces expériences l'excitateur employé était celui de Righi (1) formé de quatre petites sphères dont les deux médianes sont séparées par une couche d'huile à travers laquelle se produisent les étincelles actives ; il était placé au foyer d'un miroir sphérique concave en laiton, de 14 cm. de distance focale et de 50 cm. d'ouverture.

Les oscillations étaient observées au moyen de résonateurs Righi (2) placés suivant la ligne focale de cylindres paraboliques en carton sur lesquelles sont collées des bandes étroites et nombreuses de papier d'étain. La longueur du résonateur et des bandes d'étain était calculée pour renforcer les ondes d'une certaine longueur d'onde. Trois résonateurs de dimensions différentes furent employés.

Le prisme était formé par la superposition de sept lames de verre ayant toutes 25 cm. de hauteur et ayant respectivement 35, 30, 25, 20, 15, 10 et 5 cm. de largeur. Sur chacune des lames étaient collées des bandes d'étain de 1,5 cm. de long et de 1 cm. de large, disposées sur 12 rangées parallèles. La distance de chaque rangée était de 1 cm. environ, celle de deux bandes voisines de 1,3 cm. A cause de la différence de largeur des lames de verre le nombre des bandes d'une rangée variait de l'une à l'autre lame suivant les nombres 21, 18, 15, 12, 9, 6 et 3. Les lames étaient disposées de manière à former un volume se rapprochant d'un prisme droit à base équilatérale.

Les bandes d'étain du prisme, l'axe de l'excitateur et celui du résonateur étaient placés verticalement. Le prisme était orienté de manière à ce que l'angle d'incidence soit de 40° environ.

Les mesures consistaient à déterminer les positions pour lesquelles les étincelles cessaient de se produire dans les résonateurs lorsqu'on déplaçait ceux-ci de part et d'autre de la direction des ondes émises par l'excitateur, le prisme étant en place, puis étant enlevé.

De la comparaison des positions trouvées dans les deux cas, on a déduit que la déviation était de 9° 6′ avec le résonateur de 3 cm. de longueur, de 7° 18′ avec celui de 4 cm. et enfin de 5° 24′ avec le troisième résonateur de 6 cm. de longueur. La réfrangibilité des ondes électriques diminue donc en même temps que croît la longueur d'onde, comme cela a lieu, en général, pour les ondes lumineuses.

A propos de ces expériences, il n'est pas inutile de rappeler qu'en parlant des expériences antérieures de M. Garbasso, rappelées en commençant, M. Poincaré s'exprimait ainsi.

« Ces expériences s'expliquent donc très bien avec la manière de voir de MM. Sarasin et de la Rive et on pourrait être tenté de croire

(1) *La Lumière électrique*, t. XLVII, p. 509.
(2) *L'Eclairage électrique*, t. II, p. 356.

Digitized by Google

qu'elles condamnent l'explication que j'ai donnée de la résonance multiple. Ce serait oublier que mon explication, si opposée qu'elle paraisse à la théorie des savants génevois, y rentre au contraire comme cas particulier, puisqu'une fonction quelconque peut toujours être représentée par l'intégrale de Fourier. Elle rendrait donc compte de la même manière des expériences de M. Garbasso. »

Les expériences de M. Garbasso ne prouvent donc pas l'exactitude de l'explication qu'elles avaient pour but de vérifier. Quant à celles qui viennent d'être décrites elles nous paraissent beaucoup plus facilement conciliables avec l'explication donnée par M. Poincaré de la résonance multiple qu'avec celle de MM. Sarasin et de la Rive.

J. B.

BIBLIOGRAPHIE

Recherches sur la théorie de l'électricité de Maxwell (*Einführung in die Maxwell'sche Theorie der Elektricitat*), par FOPPL (*Teubner,* Leipzig, 1894.)

M. Foppl s'est proposé de donner un exposé simple des principes fondamentaux de la théorie de Maxwell. Il indique dans la préface de son livre les points essentiels sur lesquels doit, d'après lui, porter cette étude.

1° Toutes les actions électriques ou magnétiques exercées par un corps sur un autre situé à distance se produisent par l'intermédiaire d'un milieu (qui dans le vide est l'éther).

2° Tout diélectrique, même l'éther du vide, sous l'influence des forces magnétiques ou électriques prend un état d'équilibre contraint, comme un milieu élastique, et auquel est lié une accumulation d'énergie.

3° Tous les courants électriques sont fermés; en l'absence de conducteurs métalliques on doit considérer comme fermant le courant les changements dans l'état d'équilibre du diélectrique (courants de déplacement).

4° Dans un champ purement électrostatique, l'énergie appartient uniquement au milieu entourant les conducteurs ; dans les autres, c'est encore le milieu qui en possède la plus grande part.

5° Les lignes de force magnétiques sont toujours fermées ; autrement, dit-il, il n'y a pas de magnétisme réel.

A côté de ces propositions primordiales viennent s'en placer d'autres qui jouent un grand rôle, sans être aussi caractéristiques que les précédentes, dans la théorie de Maxwell. Ce sont :

6° La représentation des propriétés du champ magnétique par des équations déduites immédiatement des lois fondamentales de la mécanique, par les équations de Lagrange, le principe de la moindre action ou le principe d'Hamilton.

7° En particulier, l'étude de l'état de tension dans lequel se trouve le milieu soumis à une action électrique ou magnétique est rattachée à ces lois.

8° La nature électromagnétique des ondes lumineuses.

9° L'emploi dans les raisonnements mathématiques des méthodes et des notions empruntées au calcul des vecteurs.

M. Foppl paraît attacher une grande importance à ce dernier point, pour l'exposition. En fait, son livre est la meilleure justification de la préférence qu'il donne à l'emploi systématique du calcul des vecteurs, dont Maxwell n'avait fait qu'un usage accessoire.

La première partie de ce livre forme, en effet, un véritable précis très simple et très clair de la théorie des vecteurs. Sous ce guide, on acquiert très aisément tout ce qui est nécessaire à l'intelligence du reste de l'ouvrage. Les définitions et les règles de calcul essentielles y sont exposées avec méthode et des exemples bien choisis, empruntés à des questions connues de cinématique ou d'hydrodynamique, contribuent à faciliter la lecture de ce chapitre.

Une fois en possession de cet instrument de calcul, on retrouve aisément les diverses équations de la théorie de Maxwell, c'est le sujet des chapitres suivants.

Digitized by Google

L'ouvrage est divisé en six parties :

1re *Partie.* — Algèbre et analyse des vecteurs.

Chap. 1er : Opérations élémentaires.

Chap. 2 : Opérations différentielles.

Chap. 3 : Intégrales linéaires, intégrales de surface et de volume.

2e *Partie.* — Fondements de la théorie de Maxwell.

Chap. 1er : Vecteurs qui se présentent dans l'étude de l'électricité.

Chap. 2 : Grandeurs magnétiques.

Chap. 3 : Relations entre l'électricité et le magnétisme.

3e *Partie.* — Étude plus complète du système.

Chap. 1er : Forces électromagnétiques et électrodynamiques.

Chap. 2 : Forces électriques et magnétiques extérieures.

Chap. 3 : Le potentiel vecteur.

4e *Partie.* — Équations de l'énergie dans un champ électromagnétique où les conducteurs sont en repos.

Chap. 1er : Applications simples du potentiel vecteur.

Chap. 2 : Courant d'énergie de Poynting.

5e *Partie.* — Électrodynamique des conducteurs en mouvement.

Chap. 1er : Forces électromotrices induites par les mouvements de conducteurs.

Chap. 2 : Équations de l'énergie quand les conducteurs se déplacent.

Chap. 3 : Électrodynamique des courants magnétiques.

6e *Partie.* — Étude sommaire des autres parties de la théorie de Maxwell.

Chap. 1er : Les équations du champ électromagnétique déduites des équations générales de la mécanique.

Chap. 2 : Tensions du milieu dans les champs électrique et magnétique.

Chap. 3 : Ondes électromagnétiques dans un milieu isotrope.

LAMOTTE,
agrégé préparateur à la Sorbonne

CHRONIQUE

La médaille Faraday de la Société chimique, de Londres, a été décernée à lord Rayleigh pour ses recherches qui l'ont conduit à la découverte de l'argon. Cette médaille avait été conférée à Dumas, Canizzaro, Würtz, Helmholtz et Mendeleeff.

Les explosions dans les canalisations électriques. — Une série d'explosions dans les canalisations électriques en Angleterre viennent de nouveau d'appeler l'attention sur le danger du voisinage trop immédiat entre les tuyaux à gaz et les conducteurs électriques.

Le cas le plus caractéristique est celui de l'explosion d'Euston-road sur le réseau de Saint-Pancras, à Londres. Deux plaques d'égouts ont été lancées en l'air et le pavage a été soulevé dans un rayon de plusieurs mètres. La cause initiale de cet accident est, comme trop souvent, une fuite de gaz. Le mélange explosible accumulé dans la canalisation a été enflammé dans des circonstances qu'on a pu s'expliquer assez facilement. Tout d'abord, le cuivre des conducteurs était corrodé, comme l'indiquait la présence de sels de cuivre. Mais, en outre, on a trouvé sur les isolateurs des efflorescences blanches, formées par de la soude caustique presque pure. En versant sur un fragment de cette matière un peu d'eau, on a vu jaillir des flammes. D'où on conclut que cette masse contenait du sodium métallique. Avec l'humidité qui pénètre toujours dans les canalisations, et le sodium produit par l'électrolyse, le briquet est tout prêt à fonctionner, au besoin même l'hydrogène dégagé par la décomposition de l'eau pourrait encore fournir le combustible. Dans le cas qui nous occupe, le gaz est aussi coupable que l'électricité, et nous avons là un exemple d' « explosion de gaz électrique ».

Quels sont les remèdes à appliquer? En premier lieu, obliger les compagnies de gaz à réparer leur tuyauterie défectueuse, éviter l'accumulation des gaz, par une ventilation fréquente ou encore, comme on l'a proposé en Angleterre, en remplissant les caniveaux et les boites de jonctions de matières incombustibles, par exemple de petits sacs de sable. Employer des isolateurs en poterie

Digitized by Google

bien vitrifiée ou en verre, et non en grès ou en matières vernissées au sel.

Cinq autres explosions successives survenues au pont de Southwark n'ont qu'une lointaine relation avec l'électricité. Ce sont de pures explosions de gaz, les premières d'entre elles se sont produites dans une canalisation dont les tuyaux ne contenaient pas encore de conducteurs électriques, mais où le gaz échappé d'un vieux tuyau crevé, avait pénétré.

L'électricité appliquée à la manœuvre des portes d'écluses. — On sait que dans ces derniers temps les constructeurs se sont appliqués à augmenter considérablement les dimensions des vaisseaux marchands. Ce fait, qui peut être surtout constaté dans les grands ports comme Amsterdam, nécessitait à Ymuiden, dans le canal conduisant de cette ville à la mer du Nord, la création d'écluses nouvelles. Ces écluses, qui viennent d'être achevées, ont des dimensions telles qu'elles peuvent donner passage aux plus grands bâtiments; en effet, leur longueur est de 200 mètres, leur largeur de 25 mètres et leur profondeur de 9,20 mètres au-dessus du niveau de la mer à marée basse.

Chaque écluse est munie de 6 paires de portes qui la divisent et qui permettent aux bâtiments de petit tonnage de passer rapidement. Des cabestans de grande puissance sont placés des deux côtés et aident les bateaux au passage.

Il va sans dire que pour les différentes manœuvres des portes, des vannes et des cabestans on ne pouvait songer à recourir aux appareils à main qu'en cas de circonstances spéciales.

Il fallait donc faire usage d'une force motrice quelconque; deux systèmes se trouvaient en présence : l'électricité et l'hydraulique.

Jusqu'à présent, les grandes écluses ont été généralement munies d'appareils hydrauliques, et bien que les résultats obtenus fussent suffisants, cette force motrice avait le grand inconvénient d'exiger des soins méticuleux pour assurer le fonctionnement régulier des appareils pendant l'hiver. C'est pour cette raison qu'au mois de juin 1893, le ministre du Waterstaat hollandais mit la question au concours à la suite duquel MM. Figée frères, fabricants de machines à Harlem et la maison Shuckert et C° de Nuremberg, auteurs d'un projet électrique, furent invités à faire des essais provisoires aux écluses d'Ymuiden.

Ces essais auront principalement pour but de déterminer exactement la puissance nécessaire à la manœuvre des portes d'écluses. A cet effet un bâtiment provisoire sera construit à proximité des écluses et renfermera les génératrices électriques. L'énergie sera transmise par des fils aériens et alimentera deux cabestans, pouvant à volonté développer une puissance de 1 000 kgm. par seconde, soit un effort de 5 000 kg. à raison de 20 cm. par seconde, soit un effort de 10 000 kg. à raison de 10 cm. par seconde. De fortes chaînes ou des câbles d'acier enroulés autour des cabestans et fixés aux portes serviront à maintenir celles-ci avec une différence de 10 cm. entre le niveau du bassin et le niveau du canal.

L'installation définitive comportera une puissante batterie d'accumulateurs permettant d'assurer en cas de besoin le service des portes sans l'aide des génératrices.

Les résultats obtenus seront également des plus intéressants si l'on considère que les portes de ces écluses sont les plus grandes du monde, et il est hors de doute, que dans ce cas comme tant d'autres, l'électricité présentera des avantages sérieux sur la force hydraulique, employée presqu'exclusivement jusqu'à ce jour pour le fonctionnement des écluses.

Les transformations du service téléphonique à Bruxelles. — On n'attendra pas, paraît-il, la construction de l'hôtel du téléphone à Bruxelles pour appliquer au service le système des canalisations souterraines, et pour cause : on ne peut plus ajouter un kilo de fer aux énormes chevalets du bureau central sans risquer de détériorer l'immeuble où il se trouve.

Étant donné cet état de choses, on avise au moyen suivant : Un câble souterrain, du système à air appliqué actuellement à Paris, sera établi entre le bureau central et la Bourse. Ici, au moyen d'une cheminée qui existe déjà, on fera aboutir les fils contenus dans ce câble à un chevalet spécial qui sera établi sur le faîte du monument et qui formera un nouveau réseau s'étendant sur les différents points de la ville.

Bruxelles n'ayant pas le système d'égouts à grande section qui existe à Paris, dans lesquels il est facile de placer des câbles téléphoniques, on ne pourra, du reste, appliquer que partiellement le système souterrain.

Un nouveau système de microphone inventé

Digitized by Google

par Carbonelle est à l'expérience depuis quelque temps, un système simple qui, chose curieuse, nous ramène aux appareils primitifs. Il consiste dans la suppression de la pile chez l'abonné, ce qui ferait une économie de temps considérable pour le service d'inspection.

Pont-levis électrique. — Un pont-levis construit sur un bras du Chicago-River est manœuvré par l'électricité. Le tablier du pont est divisé en deux parties qui peuvent être repoussées et soulevées pour donner passage aux bateaux. Un train d'engrenages permettant d'effectuer ces manœuvres est actionné par des moteurs électriques, au nombre de deux sur chaque rive et d'une puissance totale de 200 chevaux. La communication d'une rive à l'autre est établie par des câbles sous-marins.

Électromètre à l'huile. — Le professeur Rowland a fait construire un électromètre dont les quadrants sont complètement immergés dans de l'huile. L'emploi d'un diélectrique liquide présente différents avantages. Les forces électrostatiques mises en jeu sont plus grandes, d'une part, à cause de la constante diélectrique plus élevée que celle de l'air, et d'autre part, parce que la plus grande résistance à la décharge disruptive permet de rapprocher beaucoup plus que d'ordinaire la partie mobile des parties fixes. L'amortissement dû au liquide est naturellement très efficace, et ce genre de voltmètres électrostatique se prête parfaitement aux mesures industrielles.

Le moteur électrique au bureau de poste. — Au Post-Office de Los Angeles un moteur électrique de 1/4 de cheval actionne un timbreur sous lequel passent toutes les lettres. Cette machine permet d'oblitérer les timbres de 600 lettres à la minute. Depuis le mois de juin dernier plus de 6 millions de lettres ont passé sous ce timbreur électrique.

La traction électrique en Allemagne. — La Compagnie des tramways de Stettin a décidé de remplacer la traction à chevaux par la traction électrique. Pour Stuttgart un comité a décidé que la traction par accumulateurs ne serait pas avantageuse. A Leipzig, les tramways à traction animale viennent d'être achetés par une Société de Berlin, qui veut les équiper électriquement. Une compagnie récemment formée au capital de 8 millions, se propose d'acheter 11 lignes de tramways dans l'Allemagne du Sud. Enfin, la ville de Kiel projette l'adoption de la traction électrique.

L'électricité aux avant-postes. On étudie en ce moment un moyen de maintenir les sentinelles en alerte. Dans les expéditions coloniales, quand on n'a pas le temps de se retrancher, on cherche le moyen pratique d'entourer le camp d'un circuit électrique posé à terre, dont l'interruption par des agresseurs nocturnes donnerait naissance à un courant susceptible de faire exploser un pétard avertisseur.

Éclairage électrique à Tongres (Belgique). — L'Administration communale de Tongres (Limbourg) a décidé d'éclairer la ville à la lumière électrique et invite les constructeurs à lui adresser des propositions.

L'électricité sur la ligne de Sceaux. — Sur la nouvelle ligne de Sceaux, toute la force motrice employée pour l'éclairage, les signaux, les plaques tournantes, les ascenseurs, la ventilation, est électrique.

Pour la traction seulement on n'a pas osé appliquer l'électricité malgré les précédents déjà nombreux aujourd'hui. Il n'y a pas moins de 60 km. de fil entre le Luxembourg et la place Denfert, c'est-à-dire sur une distance de 2 km.

L'emploi des petits moteurs. — Pour les petites installations de force motrice on a le choix entre un moteur à gaz ou un moteur électrique. M. Rechniewski donne à ce sujet, dans l'*Électricien* les chiffres suivants :

Un industriel parisien ayant besoin d'un moteur de 4 chevaux 1/2 a comparé la dépense qu'il aurait en employant un moteur à gaz ou un moteur électrique avec la condition, pour ce dernier, de fonctionner sous un voltage de 440 volts et à 700 tours seulement, afin de supprimer autant que possible les arbres intermédiaires. Il fallait de plus, passer de la marche à vide à la marche en

Digitized by Google

pleine charge, sans être obligé de déplacer les balais.

Voici le compte du prix de revient dans les deux cas :

MOTEUR A GAZ DE 4,5 CHEVAUX EFFECTIFS

	Dépense horaire à vide	Dépense horaire à pleine charge
Gaz. 1.800 litres à 0 fr. 30. . . . . Fr.	0,54	»
Gaz. 4.500 — à —	»	1,35
Huile	0,12	0,12
Entretien	0,13	0,13
Intérêts et amort. (13 o/o de la valeur) .	0,199	0,199
Totaux. . . . . Fr.	0,989	1,799
Par cheval-heure. . . . . Fr.	0,22	0,399

MOTEUR ÉLECTRIQUE DE 4,5 CHEVAUX EFFECTIFS

Energie électrique 0.350 kilowatts à 0,01. . Fr.	0,213	»
Energie électrique 3.900 — —	»	2,379
Huile.	0,001	0,001
Entretien.	0,020	0,020
Intérêts et amort. (13 o/o de la valeur) . .	0,099	0,099
Totaux. . . . . Fr.	0,333	2,499
Par cheval-heure. . . . . Fr.	0,074	0,558

Ainsi le calcul établi ci-dessus montre que, pour une marche à pleine charge, l'avantage reste au moteur à gaz, mais que l'avantage revient au moteur électrique lorsqu'on n'utilise qu'une partie de la force.

Pour des moteurs de la puissance indiquée, l'égalité des dépenses se trouverait pour une charge moyenne de 3 chevaux environ, soit 66 p. 100 de la puissance maxima des moteurs.

Electro-aimant monstre. — Un colonel de l'artillerie américaine, M. King, vient de faire construire un électro-aimant de dimensions inusitées. Le noyau de cet énorme électro est un canon de 5 mètres de longueur, pesant 23 tonnes. La section est de 20 dm² à la bouche de la pièce. Une bobine de 2,40 mètres de longueur, est enroulée sur ce canon ; elle comporte 5 250 tours de fil d'une longueur totale de 16 km. Avec un courant de 21 ampères on obtient ainsi 110 000 ampères-tours.

La force portante maxima de cet électro-aimant est de 20 tonnes quand le circuit magnétique est complété par une pile de plaques en fer forgé. A une distance de 22 mètres de la bouche du canon, le champ créé est égal au champ terrestre, tandis qu'à 30 cm. de distance il est 338 000 fois plus intense.

La traction électrique à Bruxelles. — La ligne des tramways Nord-Midi passant par les boulevards du Nord, Anspach et du Hainaut, longue de 2,4 km., sera dotée de la traction électrique. Cette ligne à double voie n'aura qu'une rangée de poteaux placés entre les deux voies.

Afin que ces poteaux soient aussi ornementaux que possible, les artistes sont invités à présenter des projets qui feront l'objet d'un concours. L'administration communale de Bruxelles, les sociétés de tramways de Bruxelles et la société de l'Art appliqué à la rue, ont mis plusieurs prix importants à la disposition du jury.

Il faut espérer que la ville profitera de cette occasion pour éclairer ses boulevards à l'électricité en surmontant les potaux de lampes à arc.

Chemins de fer électriques. — Plusieurs Compagnies américaines de chemins de fer introduisent la traction électrique sur quelques-unes de leurs lignes. C'est ainsi que le New-York, New-Haven and Hartford Railroad installe sur la section de Nawtasket Beack le système à trolley. Les voitures seront munies chacune de deux moteurs électriques de 100 chevaux.

D'autre part, la Pennsylvania Company, va faire circuler sur la ligne de Burlington à Holly, longue de 13 km., des voitures munies de deux moteurs de 75 chevaux, construits pour une vitesse de 90 km. à l'heure. Si ce mode d'exploitation donne de bons résultats, d'autres sections du Pennsylvania-Railroad seront équipées avec ce matériel électrique, en remplacement des locomotives à vapeur.

L'électricité aux grottes de Han (Belgique). — Une société qui vient de se constituer pour l'exploitation de ces grottes, s'est décidée à les éclairer à l'électricité, et à y installer des fontaines lumineuses et des projections électriques.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Digitized by Google

Tome III. Samedi 4 Mai 1895. 2e Année. — N° 18.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

NOUVELLE EXPÉRIENCE

SUR LES

COUCHES ÉLECTRIQUES DOUBLES

Dès 1853, Helmholtz (1) introduisait en électricité l'idée des couches électriques doubles (*elektrische Doppelschicht*), situées sur les côtés opposés de la surface de séparation de deux corps — conducteurs, électrolytes, ou diélectriques — différents. La découverte des phénomènes électrocapillaires est venue donner aux idées d'Helmholtz une éclatante confirmation : les expériences de M. Lippmann s'interprètent très simplement dans l'hypothèse des couches doubles; et l'hypothèse donne même la clef de certaines expériences dont l'explication restait plus obscure, ainsi que l'a montré M. Pellat.

Dans certaines circonstances, la couche double qui existe à la surface de séparation est réduite à zéro : le condensateur formé par les deux faces de la couche de passage est alors complètement déchargé. Si on y applique une force électromotrice alternative, on sera dans le même cas qu'avec un électromètre idiostatique, tel que l'électromètre absolu, ou le voltmètre électrostatique de lord Kelvin. Avant de décrire le dispositif sous lequel j'ai réalisé l'expérience, je rappellerai sommairement quelques-unes des principales expériences qui ont eu pour but ou pour résultat de mettre en évidence l'existence de ces couches doubles.

(1) HELMHOLTZ. Ueber einige Gesetze der Vertheilung elektrischer Ströme in körperlichen Leitern mit Anwendung auf die thierisch-elektrischen Versuche. — *Wissenchaftliche Abhandlungen*, t. I, p. 475.

I

Pour Helmholtz, « la force qui produit le travail de la charge galvanique des métaux conducteurs ne peut être attribuée qu'à une attraction différente des différents métaux pour les deux électricités ». Soit K_c la quantité d'énergie potentielle qui est fournie par les forces d'attraction du cuivre à l'égard d'une unité d'électricité positive, quantité qui se trouve perdue quand cette unité d'électricité disparaît à l'intérieur du cuivre, K_z la même quantité pour le zinc, on a par le passage d'une quantité dE d'électricité, du cuivre, où elle est au potentiel P_c, sur le zinc où elle est au potentiel P_z, un gain d'énergie potentielle égal à :

$$dE\left(K_c - K_z - P_c + P_z\right),$$

A l'état d'équilibre, ce travail doit être nul, et l'on a par conséquent :

$$P - P_c = K_z - K_c,$$

Remarquons en passant, qu'en écrivant les

Digitized by Google

mêmes relations pour un troisième métal, on aurait immédiatement la loi des contacts successifs.

Dans l'intervalle entre les deux métaux, dans la couche de passage, la quantité

$$P - K = P_c - K_c = P_z - K_z$$

reste donc constante, et la densité solide de l'électricité, ε, à une distance x de la surface limite, est donnée par :

$$-4\pi\varepsilon = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 K}{\partial x^2}.$$

Prenons deux disques, de cuivre et de zinc, deux disques circulaires de rayon R ; si la force électromotrice est A, et la distance des deux couches d'électricités positive et négative, D, et si on appelle e la densité superficielle de l'une de ces couches, on a :

$$4\pi e = \frac{A}{D}.$$

La quantité de l'électricité répandue sur chaque disque est

$$\pi R^2 e = \frac{AR^2}{4D}.$$

Si chacun des disques est éloigné de l'autre, et isolé, l'électricité qui y est répandue en équilibre y développe un potentiel :

$$P = \frac{1}{2}\pi^2 Re = \frac{1}{8}\pi\frac{RA}{D}.$$

Si l'on fait R = 10 cm. et D égal à un millionième de millimètre, on trouve que, par le fait de la séparation des plateaux, si l'un d'eux est relié à la terre et si l'autre est isolé, le potentiel de celui-ci est multiplié par 39 270 000.

Ce calcul montre que, par un isolement absolu des plateaux, on pourrait, en partant de f. é. m. beaucoup moindres même que la différence de potentiel qui existe entre le cuivre et le zinc, atteindre des tensions de l'ordre de celles que donnent nos machines électriques ; et d'un autre côté, que pour obtenir des actions énergiques de cette espèce, il sera essentiel que l'un des deux corps au moins ait une absence de conductibilité aussi absolue que possible. C'est bien ce que l'expérience nous a appris, relativement à l'électrisation par frottement. Le frottement sous une certaine pression serait, d'après cela, le moyen d'établir un contact intime et étendu de deux corps électriques différents, pour développer sur leur surface les couches des deux électricités (1).

II

Helmholtz rattachait ainsi le développement de l'électricité par frottement — le premier phénomène *électrique* connu — à l'existence des couches doubles. Dans le mémoire même où il donne ces aperçus nouveaux (*Studien über elektrischen Gresschichten*, 1879), il tente d'expliquer par les couches doubles un phénomène depuis longtemps étudié par G. Wiedemann et Quincke, le phénomène de l'*osmose électrique*. Disons un mot en passant de ces expériences de Wiedemann, très intéressantes et trop peu connues, quoi qu'il faille faire bien des réserves sur l'application qu'y a faite Helmholtz de sa théorie. G. Wiedemann (2) a montré que si l'on a un liquide répandu dans deux compartiments séparés par une cloison poreuse, et si l'on fait passer le courant électrique d'un côté à l'autre, le courant entraîne du liquide dans le sens même où il va, du pôle positif au pôle négatif, à travers la cloison poreuse.

L'expérience lui a donné les lois suivantes :

1° Les quantités de liquide entraînées dans le même temps à travers la paroi de terre poreuse sont proportionnelles aux intensités de courant ;

2° Les quantités de liquides entraînées à travers différentes parois poreuses par le même courant sont indépendantes de la surface de ces parois ;

3° Pour un même courant, la quantité en-

(1) Helmholtz. *Wiss. Abhand*, p. 861.

(2) Wiedemann. Ueber die Bewegung von Flüssigkeiten im Kreise der geschossenen galvanischen Saüle. *Pogg. Ann.*, t. LXXXVII, p. 321.

Digitized by Google

traînée est indépendante de l'épaisseur de la paroi poreuse.

Cette quantité dépend du liquide employé.

Pour se mettre à l'abri de l'influence perturbatrice qu'exerce le frottement des liquides passant au travers de la paroi poreuse, Wiedemann a complété ces expériences *dynamiques* par des expériences *statiques* où il a équilibré l'action du courant sur le liquide par une pression antagoniste exercée du côté du pôle négatif. Il a cherché comment varie cette pression avec les diverses circonstances du phénomène, et a obtenu les résultats suivants :

1° Les pressions sont proportionnelles aux intensités de courant;

2° Elles sont inversement proportionnelles, toutes choses égales d'ailleurs, aux surfaces libres de la paroi poreuse;

3° Elles sont proportionnelles, toutes choses égales d'ailleurs, aux épaisseurs de paroi;

4° Enfin elles sont, toutes choses égales d'ailleurs, directement proportionnelles aux résistances spécifiques des liquides.

On conçoit que, dans une expérience statique, n'intervienne que la conductibilité (ou la résistance) spécifique du liquide; dans l'expérience dynamique, intervient sa viscosité, ou son coefficient de frottement intérieur.

Helmholtz établit que si un tube capillaire présente à ses extrémités deux couches égales et opposées d'électricité, de densité superficielle e, il s'ensuit que, indépendamment de toute pression hydrostatique extérieure, le liquide s'écoule le long du tube avec une vitesse :

$$u = \frac{\sigma J}{4\pi k^2}\left(\varphi_i - \varphi_a\right),$$

où σ représente la résistance spécifique, J le courant, k le coefficient de frottement intérieur, $\varphi_i - \varphi_a$ la différence de potentiel établie entre les deux extrémités. Dans cette formule n'intervient ni la longueur, ni la section du tube; en l'appliquant au cas d'un très grand nombre de tubes capillaires constitués par les interstices d'une cloison poreuse, on retrouve les lois de Wiedemann; et l'on peut, de ses expériences, déduire la différence de potentiel $\varphi_i - \varphi_a$ existant aux deux côtés de la cloison poreuse baignée par le liquide que traverse le courant. On trouve pour une solution déterminée un nombre constant.

Le passage du courant développerait ainsi entre les deux faces de la cloison poreuse une force contre-électromotrice, fixe pour un liquide déterminé, égale à

Daniell		Pour 1 litre
1,2265	pour une solution de SO^4H^2 à	76 milligr
1,7717	— de $CuSO^4 + 5H^2O$ à.	149 —
0,4168	— de $Cu(NO^3)^2$	82 —

et environ

3,9346 pour de l'eau pure.

A cette force contre-électromotrice correspondrait une couche double dont l'influence sur le liquide contenu à l'intérieur des tubes de la paroi expliquerait très bien les phénomènes. Mais il reste sur ce sujet trop de points à éclaircir pour que nous insistions : nous avons voulu rappeler simplement un phénomène important, qui a joué dans le développement de la théorie des couches doubles un rôle historique considérable.

III

M. Lippmann annonça en 1875 (1) que « la constante capillaire à la surface de séparation du mercure et de l'acide sulfurique étendu est fonction de la différence électrique qui a lieu à cette surface ». Inversement, lorsque, par des moyens mécaniques, on déforme une surface liquide, la différence électrique de cette surface varie dans un sens tel que la tension superficielle développée en vertu de la première loi s'oppose à la continuation du mouvement.

La première loi se vérifie très aisément avec l'*électromètre capillaire*. On établit entre le

(1) Lippmann. Relations entre les phénomènes électriques et capillaires : *Annales de chimie et de physique*, 5e série, t. V, p. 494.

Digitized by Google

mercure M du tube capillaire et le mercure M′ de la cuvette une différence de potentiel variable à volonté (fig. 1). On peut prendre cette prise de potentiel aux deux bouts d'une résistance R, traversée par le courant d'une pile Daniell, fermée sur un circuit (1) dont la résistance totale est toujours constante. Le circuit comprend, outre l'élément de pile, deux boîtes de résistance R et R′ : on ôte les clefs de l'une pour les mettre à l'autre, de façon que la résistance introduite soit dans tous les cas égale à la résistance de l'une des boîtes. Les deux points C et D sont reliés à deux godets contenant du mercure et plongés dans un pain de paraffine P. Les fils de communication sont tous soigneusement isolés, et ne touchent à la table que par des supports de paraffine. Les communications entre les godets 1 et 2 auxquels sont reliés les deux mercures M et M′, et les godets 5 et 6 reliés aux points C et D du circuit 1, sont établies par des ponts mobiles en fil de cuivre, qu'on met à volonté entre deux godets quelconques.

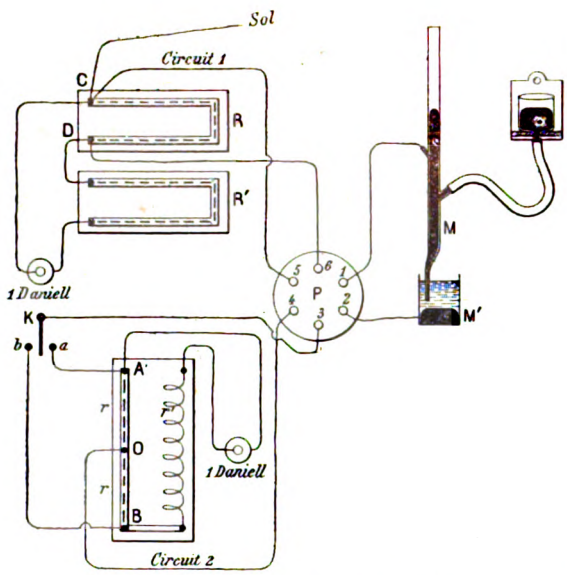


Fig. 1. — Disposition des appareils.

Les godets 1-2 étant d'abord reliés (fig. 2, I), les deux mercures M et M′ sont en communication métallique, par suite au même potentiel ; le ménisque dans le tube capillaire prend une position bien fixe. Si on jette ensuite deux ponts reliant 6-1 et 5-2 (les godets 3 et 4 de la figure 1 ne sont pas encore utilisés) (v. fig. 2, II), le ménisque ne bouge pas si toutes les clefs sont mises sur la boîte R. Si on enlève une clef pour la porter en R′, on a un déplacement du niveau.

Le courant passant de C vers D, C doit être relié au grand mercure M′ afin de polariser la petite surface de mercure dans le tube capillaire par l'hydrogène. Dans ces conditions, avec un électromètre bien construit, on a un

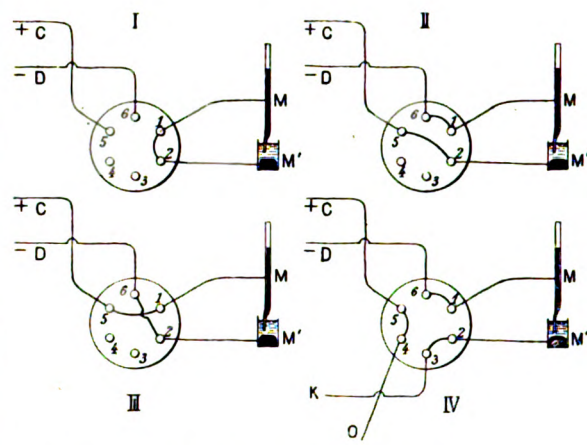


Fig. 2. — Diverses positions du commutateur.

déplacement très appréciable pour 1 ohm introduit en R sur une boîte de 11110, c'est-à-dire pour une différence de potentiel de $0^{volt},0001$. Le niveau du mercure monte en réalité dans le tube quand on polarise par l'hydrogène ; dans le microscope qui sert à viser et qui, naturellement, renverse, on voit la surface de séparation baisser ; la partie noire de la colonne est réduite aux dépens de la partie transparente constituée par l'eau acidulée. Avec une différence de potentiel un peu notable, toute la partie noire, tout le mercure se retire du champ.

Au contraire, si on polarisait par l'oxygène, en adoptant les communications 6-2 et 5-1 (fig. 2, III), on verrait le niveau monter en apparence et la colonne noire envahir tout le champ. Le microscope porte un micromètre,

Digitized by Google

qui permet de juger de combien de divisions le niveau monte ou baisse ; on a ainsi une graduation arbitraire.

Si on continue à polariser par l'hydrogène, avec la disposition II (fig. 2), le mercure monte de plus en plus dans le tube *t*. On est obligé de lever progressivement le viseur pour suivre le mouvement du niveau. On remarque que l'appareil est de moins en moins sensible ; si l'on a mis sur la boîte R par exemple, 3 000 ohms, l'addition de 5 ohms ou de 10 ohms donnera un déplacement du niveau moindre que si on ajoutait ces 5 ou 10 ohms à partir du zéro. Pour une valeur convenable de la résistance, le niveau du mercure reste stationnaire, sa hauteur dans le tube est maintenue, et si à partir de là on augmente encore la résistance R aux dépens de R′, on le voit redescendre.

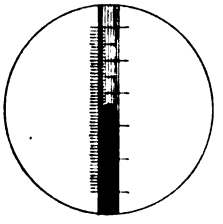


Fig. 3. — Image de la partie inférieure de l'électromètre.

Dans les expériences qui vont suivre, j'employais un élément Daniell système Terquem, et deux boîtes de résistance, malheureusement différentes ; une boîte Elliott de 10 000 ohms et une boîte Carpentier. Voici quelques nombres obtenus dans un cas où je maintenais dans le circuit une résistance totale de 10 000 ohms ; j'inscris les résistances R (boîte Elliot), et en regard les divisions lues à l'échelle arbitraire du micromètre.

Résistances R.	Divisions D.
8000	7
8500	2
8700	$1 + \varepsilon$
8900	$2 - \varepsilon$
9000	2
9500	5
9800	10

En construisant la courbe, on voit que son minimum correspond très sensiblement à l'abscisse 8825, ce qui donne pour la force électromotrice qui amène le niveau à son point le plus haut :

$$1^{volt},08 \times \frac{8825}{10000} = 0^{volt},95.$$

Le nombre est bien sensiblement le nombre qu'avait donné M. Lippmann pour la force électromotrice produisant le *maximum de la constante capillaire*.

Il est à remarquer, en effet, qu'un accroissement de la constante capillaire aurait pour résultat de faire monter le niveau du mercure dans le tube, car le tube est légèrement conique ; il est très aisé de s'en apercevoir en observant au microscope, et déplaçant ce microscope de bas en haut. Une pression hydrostatique exercée par en haut fait baisser le mercure ; l'équilibre entre les forces capillaires à la surface du ménisque inférieur et la pression (comprenant le poids de la colonne mercurielle, plus la pression exercée au-dessus) s'établit donc à un niveau d'autant plus voisin de la pointe que la pression est plus grande. C'est dire qu'avec les mêmes liquides dans le même tube solide en verre, avec la même constante capillaire, la force capillaire développée augmente quand le niveau baisse. Si le niveau monte sans que la force capillaire cesse de faire équilibre à une même pression hydrostatique, ce qui a lieu quand on polarise par l'hydrogène, on peut dire que *tout se passe comme si* la constante capillaire avait augmenté. Tout se passe comme si elle était maxima pour une différence électrique de $0^{volt},95$.

En réalité, il est plus correct de dire que la constante capillaire ne varie pas, mais qu'à la force capillaire s'ajoute une force qui dépend de la différence électrique des deux mercures. M. Duhem écrit sous la forme suivante l'équation d'équilibre qui doit être vérifiée en tout point de la surface de contact.

$$\left(A_{pq} + A_{qp}\right)\left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R'_p}\right) + \varepsilon\left(\rho_p - \rho_q\right) + C_{pq} = 0. \quad (1)$$

(1) P. Duhem. Sur les phénomènes électro-capillaires. *Ann. de l'Ecole normale sup.*, 2e série t. VI, p. 219,

Digitized by Google

où $(A_{pq} + A_{qp})$ représente la *constante capillaire* à la surface de séparation des deux liquides, R_p et R'_p les rayons de courbure principaux en un point de cette surface, où ρ_p et ρ_q sont les densités des deux fluides, z la distance du point de la surface à un plan vertical, et g l'accélération de la pesanteur, et enfin où C_{pq} est une quantité qui est fonction de la différence électrique qui existe entre les deux liquides. Quand on fait varier cette différence, c'est la quantité C_{pq} qui varie, et non $(A_{pq} + A_{qp})$ qui reste fixe : il est clair qu'on arrive ainsi aux mêmes résultats vérifiables qu'en supprimant le terme C_{pq} et regardant $A_{pq} + A_{qp}$ comme variable.

C'est précisément au même résultat que conduit immédiatement la considération de la couche double.

Si l'on considère une surface courbe, comme celle d'un ménisque, sur les deux faces de laquelle, à une distance très petite, sont distribuées des couches égales et opposées d'électricité positive et négative, il est aisé de voir que ces couches produisent une force verticale dirigée vers le côté convexe de la surface, et par conséquent de sens contraire à la résultante des forces capillaires.

Il suffit de remarquer, comme le fait M. Vaschy (1), que si on considère une couche très mince de diélectrique séparant les deux conducteurs, à l'intérieur de ce diélectrique s'exercent des tensions normales à la surface courbe, et des pressions tangentielles. Si D est l'épaisseur de la couche, et V la différence de potentiel, chacune de ces tensions ou pressions a pour valeur, par unité de surface :

$$p = \frac{V^2}{8\pi D^2};$$

et deux portions contiguës de la couche diélectrique, séparées par une courbe C tracée sur la surface de séparation, exercent ainsi l'une sur l'autre une pression tangentielle qui, par unité de longueur du contour C, vaut :

$$pD = \frac{V^2}{8\pi D}.$$

Si les surfaces limites de ce diélectrique infiniment mince, ne sont autres que les surfaces mêmes qui limitent les deux liquides conducteurs, mercure et acide sulfurique, il est clair que les tensions normales seront sans effet ; les pressions tangentielles donneront au contraire une résultante égale et directement opposée à la résultante d'actions tangentielles, comme les actions capillaires, dans lesquelles la *tension superficielle* aurait la même valeur absolue $\frac{V^2}{8\pi D}$.

On peut dire qu'il y a à retrancher de la constante capillaire le terme $\frac{V^2}{8\pi D}$, ou, si l'on veut, on peut écrire le terme C_{pq} de M. Duhem

$$C_{pq} = -\frac{V^2}{8\pi D}\left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_q}\right).$$

La constante capillaire apparente, celle qui varie, d'après l'énoncé de Lippmann, avec la différence électrique, est donc :

$$A_{pq} + A_{qp} - \frac{V^2}{8\pi D}.$$

Elle est maxima pour $V = 0$; c'est-à-dire quand la différence de potentiel au contact du mercure et de l'eau acidulée est *réellement* nulle. L'on obtient ce maximum en introduisant entre les deux liquides une différence de potentiel de $0^{volt},95$; on en conclut qu'à l'état normal, quand on n'introduit aucune force électromotrice, il existe à la surface de séparation mercure-eau acidulée une différence de potentiel $0^{volt},95$. Elle est dans un sens tel qu'il faut polariser par l'hydrogène pour la diminuer ou la supprimer ; il faut mettre le pôle négatif au mercure. *Donc, normalement, le mercure est chargé positivement, et l'eau acidulée négativement.*

Sur le mercure large de la cuvette M', dont

égalité (3). — (Nous avons rétabli le terme de Laplace $g\zeta(\rho_p - \rho_q)$ au lieu de l'expression plus générale donnée par M. Duhem.)

(1) VASCHY, *Electricité et magnétisme*, t. I, p. 113.

Digitized by Google

la surface est plus d'un million de fois supérieure à celle du mercure du tube M, l'addition de la quantité d'électricité nécessaire pour composer la double couche du petit mercure, n'apporte aucune modification appréciable : et c'est bien la même quantité d'électricité qui y arrive, puisque les deux surfaces font partie du même circuit.

IV

Sans nous arrêter à l'expérience réciproque, celle de la production d'un courant par l'écoulement continu du mercure tombant d'un entonnoir dans un vase large contenant de l'eau acidulée et, au fond, une large surface de mercure, arrivons à une expérience qui a semblé longtemps plus malaisée à expliquer.

Deux vases B et C contiennent du mercure et de l'eau acidulée; ils sont réunis à la partie supérieure par un siphon plein d'eau acidulée. Dans les mercures plongent deux fils de platine en relation avec les bornes d'un galvanomètre. B est un tube capillaire. Si on fait varier l'étendue de la surface de contact des liquides en inclinant, par exemple, le tube B, on observe au galvanomètre un courant, dont le sens dépend du sens de la variation de la surface. M. Pellat (1) a fait remarquer qu'en pareil cas, la différence de potentiel entre le mercure et l'eau acidulée, en B, est constante, puisque le circuit est fermé. Si l'on fait varier la surface sur laquelle est répartie la couche électrique, on obtient le même résultat qu'en changeant la capacité d'un condensateur dont les armatures seraient reliées à des sources à potentiel constant : on aurait un courant de charge ou de décharge.

Mais si l'on introduit dans le circuit une f. é. m. qui polarise par l'hydrogène le mercure B, sans modifier notablement le mercure C, on pourra annuler la couche double en B; on pourra, dès lors, modifier à volonté la grandeur de la surface de contact sans produire aucun courant. M. Pellat a vérifié que pour une f. é. m. de polarisation voisine de $0^{volt},95$, on arrive à supprimer tout courant quand on modifie la surface B. Il en conclut que telle est bien la différence de potentiel existant normalement et réellement au contact mercure-eau acidulée, et il en déduit une méthode de mesure de la différence de potentiel vraie entre deux métaux, — différence de potentiel que n'atteignait ni sa méthode de mesure des différences de potentiel, laquelle donne seulement les différences apparentes, ni, encore moins, la mesure du phénomène de Peltier.

En substituant au mercure l'amalgame de zinc, il a trouvé, par la même méthode, que la différence de potentiel normale entre l'amalgame de zinc et l'eau acidulée est presque nulle; elle est $0^{volt},02$, et dans le même sens que pour le mercure.

V

Si la couche double est réduite à zéro, la variation de la constante capillaire à partir de là sera proportionnelle à V^2, c'est-à-dire indépendante du signe de V. En particulier, si on fait agir une force électromotice alternative, on devra avoir le même effet produit qu'avec une force électromotrice de sens constant, et de valeur convenable. C'est ce que je me suis proposé de vérifier directement sur l'électromètre capillaire Lippmann.

J'ai employé le dispositif décrit plus haut (III); à l'électromètre était adaptée la modification de M. Limb, permettant de faire varier à volonté les niveaux et de laver tout le tube capillaire à l'eau acidulée aussi souvent qu'on le voulait. A côté du circuit 1, comprenant les résistances R et R′, était placé un second circuit sur lequel devrait être prise la force électro-motrice de sens variable. On commençait par donner à R la valeur convenable pour amener le mercure au point le plus haut possible dans le tube. Dans une expérience, où l'on employait deux boites R et R′, de disposition différente (ce qui compliquait un peu

(1) Pellat. Mesure de la différence de potentiel vraie de deux métaux au contact. — *Séances de la Société française de physique*, année 1887, p. 128.

Digitized by Google

la manœuvre des clefs), on a obtenu ce maximum très sensiblement pour R = 9000 ohms, R′ = 1111.

Le circuit 2 (fig. 1) comprend un Daniell, puis une boîte à pont d'Elliott, le courant traverse successivement une résistance r' qui peut varier de 0 à 9999 ohms ; puis deux résistances r qui comprennent chacune quatre bobines de 10, 100, 1 000, et 10 000 ohms. Des fils soigneusement isolés partent du bouton O qui sépare les deux résistances r, et des deux boutons A,B qui sont aux extrémités de ces deux résistances.

Les fils partant de A et de B sont reliés d'une manière permanente à deux pièces de

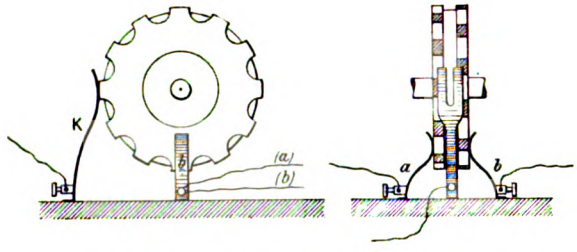


Fig. 4 et 5. — Interrupteur de courant. Vue de côté et de face.

laiton *a*, *b* qui viennent successivement en contact avec un ressort fixe K. Les pièces *a* et *b* s'appuient sur deux cercles de laiton présentant chacun douze échancrures qui alternent, et fixés sur les deux faces d'un disque isolant (fig. 4 et 5).

Pour établir les communications, on adopte un commutateur à six godets de porcelaine, noyés dans un gâteau de paraffine, et pleins de mercure. Je numérote les godets 1, 2, 3, 4, 5, 6, en suivant les sommets de l'hexagone régulier qu'ils forment. 1 est toujours relié au mercure supérieur de l'électromètre, 2 au mercure inférieur de la cuvette. 5 et 6 sont reliés aux extrémités C et D de la résistance R (1er circuit). R étant réglé de manière que le niveau du ménisque soit le plus haut possible dans le tube capillaire ; c'est à partir de là qu'on fera agir la force prise alternativement entre O et A, et entre O et B.

Le point O est relié à 4, et le ressort K, qui sera successivement en contact avec *a* et *b*, à 3. Trois ponts établissent d'une manière permanente les communications : 2 — 3, 4 — 5, 6 — 1 (fig. 2, IV). Le point C du premier circuit (le courant traverse la résistance R de C à D) et le point O du second sont en communication permanente avec le sol ; tout le reste de l'appareil est très soigneusement isolé.

Dans une des expériences, on a pris pour les deux résistances égales r la valeur 1 000 ohms ; on a $r' = 5\,000$. On a donc pour les forces électromotrices OA, OB, $= \frac{1.000}{7.000} \times 1^{\text{volt}},08$.

Pendant une fraction du temps qui est ici de l'ordre de $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{3}$, le ressort K n'est en contact ni avec *a* ni avec *b* : il importe de le mettre, avant l'expérience, en communication avec le sol, de façon qu'il soit bien au même potentiel zéro que les points C et O, tant qu'il ne touche ni *a* ni *b* ; *il importe surtout de vérifier* a posteriori *qu'il y reste bien*. On y arrive en faisant $r = 0$; on doit n'avoir, dans ce cas, aucun déplacement du niveau mercuriel pendant la rotation du commutateur, et cela quelle que soit la position primitive de ce niveau (qu'on peut changer en changeant R et R′) ; on peut en pratique avoir cette fixité de niveau maintenue durant quelques minutes.

On introduit alors en r les résistances de 1 000 ohms. Quand on arrête le commutateur en un point où le ressort K touche *a*, on a une certaine dénivellation. Par exemple, le niveau était à la division 8 du micromètre ; il monte (paraît monter) à la division 16. Si K touche *b* qui est en relation avec B, le niveau est encore à la division 16. Dans la position intermédiaire, où K est isolé, le niveau se maintient à 8. Quand on fait tourner le commutateur à une allure un peu vive, une vingtaine de tours par minute (ce qui correspond à 20 × 12 = 240 alternances par minute), le niveau se fixe d'une façon très nette à une division intermédiaire, à la division 13.

Il reste à cette division 13 quand on aug-

Digitized by Google

mente la vitesse de rotation. On a atteint 200 tours par minute.

Dans une autre expérience, le niveau primitif correspondant au maximum étant à la division 1, on a fait $r = 1\,000$, $r' = 2\,000$. En laissant le ressort K en contact permanent soit avec a, soit avec b, le niveau vient à 50,5. En faisant tourner, il se fixe à 22.

Comme vérification, j'ai fait immédiatement après : $r = 0$, $r' = 4\,000$. Le niveau est toujours resté bien fixe à la division 1.

J'ai en outre vérifié que, si l'on part d'une position du ménisque autre que celle du maximum de la constante capillaire, l'introduction de la force électromotrice alternative ne change pas la position du niveau.

Si, en particulier, on part de la position du niveau qui correspond à l'égalité de potentiel en M et en M', — en faisant $R = 0$, on n'a rien. Prenons $r' = 5\,000$, $r = r = 10$; la force électromotrice alternative est ici $\pm \frac{1}{500}$ de daniell, ce qui est beaucoup pour cette position du niveau qui correspond à une région de grande sensibilité. En appuyant K sur les disques a ou b, on a une dénivellation dans un sens ou dans l'autre de 10 divisions environ. En faisant tourner rapidement, on a une dénivellation moyenne nulle. On a quelques petites variations du niveau, mais sans rien de fixe, et qui tiennent à ce que, durant le temps où K est isolé, sans toucher ni a, ni b, la constante du potentiel ne se maintient pas rigoureusement à 0^{volt}, 0001 près. Ce qui prouve bien que telle est l'explication, c'est qu'en remettant les fiches en r, de façon à faire $r = 0$, et faisant tourner le commutateur, on a exactement le même phénomène : on ne change rien à son allure.

On a la même chose encore pour $r = r = 100$, ce qui donnerait dans un sens ou dans l'autre une dénivellation énorme. Et de même pour $r = 1\,000$, bien qu'il soit plus difficile alors de réaliser la constance du niveau.

On a les mêmes résultats en partant d'une position initiale quelconque du niveau mercuriel, pourvu qu'elle soit éloignée de celle qui donne le maximum de constante capillaire. Je l'ai vérifié en particulier en faisant $R = 1\,000$, $R' = 9\,111$.

VI

C'est une force électromotrice alternative d'une espèce un peu particulière que l'on a fait agir ici pour recharger la couche double, préalablement annulée. Il est bien vraisemblable que l'on obtiendrait le même résultat avec une force électromotrice sinusoïdale, prise aux deux bouts d'une résistance parcourue par un courant alternatif ordinaire; il y aurait néanmoins intérêt à le vérifier; ce qu'il y aurait surtout intérêt à voir, et ce que je me propose de rechercher, c'est si, en faisant croître beaucoup la fréquence du courant alternatif employé, on aurait encore le même résultat : pour que l'électromètre puisse être chargé, dans un sens ou dans l'autre, ne faut-il pas une durée minima qu'on aurait par là une manière de mesurer? Je me proposais en particulier d'essayer d'appliquer l'électromètre, ainsi polarisé au préalable par le circuit 1, à l'étude des forces électromotrices alternatives développées entre deux points pris sur un résonateur de Hertz.

L'un des deux pôles de la source alternative à étudier ne se trouve relié à l'une des mercures de l'électromètre que par l'intermédiaire de toute une portion du circuit 1 : il n'est pas probable, au moins avec les fréquences ordinaires, que cette circonstance apporte de sérieuses perturbations, mais c'est sans contredit une complication gênante. Aussi serait-il plus pratique de s'adresser à un liquide qui aurait son maximum de constante capillaire en présence d'un électrolyte comme l'eau acidulée précisément pour une différence de potentiel zéro. Dans une note présentée en 1891 au Congrès de l'*Association pour l'avancement des Sciences*, à Marseille, M. Lucien Poincaré (1) a signalé qu'il en était

(1) Lucien Poincaré. Variation de la différence de potentiel au contact d'une électrode et d'un électro-

Digitized by Google

ainsi pour l'amalgame d'étain : et il remarquait expressément qu' « en construisant un électromètre avec cet amalgame, on obtient un électromètre dont le mercure marche toujours dans le même sens, alors qu'on change le signe de la force électromotrice » ; il constatait en outre que « l'appareil est d'une grande sensibilité au voisinage du zéro ». En donnant à cet électromètre à amalgame, la forme pratique d'électromètre capillaire, que M. L. Poincaré propose dans la même note, on aurait là sans doute un appareil pratique très intéressant.

Une autre conséquence m'a été suggérée par ces expériences. Si on a en présence un liquide et un électrolyte, pour lesquels la différence électrique normale soit nulle, comme l'amalgame d'étain et l'eau acidulée, ou faible, comme l'amalgame de zinc et l'eau acidulée, pour lesquels elle est $0^{volt},02$ d'après M. Pellat, un courant alternatif qui traverse la surface de contact peut fort bien la « polariser ». Rien ne prouve donc qu'on se mette à l'abri de toutes les complications qu'entraîne la polarisation des électrodes, dans les expériences de mesure des résistances de liquides, par l'emploi des courants alternatifs. Et il pourrait y avoir de ce chef une critique de plus, au moins contre la généralité de la méthode des courants alternatifs, si les expériences de MM. Bouty et Foussereau n'avaient définitivement clos la discussion (1).

BERNARD BRUNHES,
Chargé de cours à la Faculté des sciences de Dijon.

lyte, avec la température. Assoc. franç. pour l'avancement des sciences, Congrès de Marseille, 1891.

(1) Les expériences décrites ici ont été faites à l'Institut de physique de la Faculté des sciences de Lille. Si quelques autres sont indiquées à l'état de simple projet, c'est que mon départ de cet Institut m'oblige à les ajourner.

CALCUL ET CONSTRUCTION
DES MACHINES DYNAMOS
A COURANT CONTINU (1)

Les diverses parties d'une machine dynamo ayant été étudiées comme il a été indiqué dans la première conférence, il importe de procéder à certaines vérifications.

En premier lieu, il faut se rendre compte de la valeur que pourra atteindre la perte due à l'effet Joule $W_i = RI^2$.

S'il s'agit, par exemple, d'un induit à tambour pour machine à 4 pôles, la longueur du fil, qui sert à déterminer R, est obtenue en faisant la somme d'un certain nombre d'arcs *ab* (fig. 4) et de génératrices du tambour. Dans

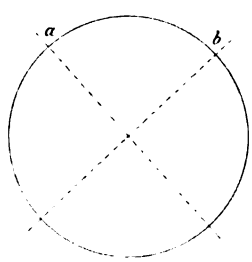


Fig. 4.

cette évaluation, on tient compte de la résistance électrique spécifique des fils *à chaud*; ainsi, celle du cuivre ayant pour valeur 1,65 à froid, on la suppose égale à 2,00 dans les calculs.

En second lieu, il faut se rendre compte de la perte par hystérésis, laquelle, exprimée en watts, a, pour expression :

$W_h = 10^{-7} \times k \times 38^{1,6} \times$ volume $\times$ fréquence

La valeur minima du coefficient k est 0,002, mais si l'on emploie de mauvaises tôles, elle peut atteindre 0,004 ; en général, on peut admettre la valeur moyenne de 0,003, les tôles pour lesquelle $k = 0,002$ étant d'un prix assez élevé et, par suite, peu employées.

Mais, si l'épaisseur *e* de l'induit est grande

(1) Conférence faite au Laboratoire central d'électricité le 25 mars 1895. Voir l'*Ecl. élect.* du 20 avril, p. 97.

Digitized by Google

par rapport à la longueur *mn* (fig. 5), les lignes de force telles que *mn* sont plus serrées vers le contour extérieur que vers le centre de l'anneau ou du tambour. Il peut en résulter un accroissement de la perte par hystérésis, et, dans ce cas, on majore de 20 p. 100 environ la valeur trouvée pour W_h.

La totalité de la chaleur produite par l'effet Joule et l'hystérésis doit être dissipée par le rayonnement de la partie extérieure de l'induit.

Pratiquement, on est limité à 25 watts par décimètre carré, pour ne pas atteindre des températures inadmissibles; et si la vérification indique une valeur supérieure, il y a lieu de modifier les dispositions de la machine.

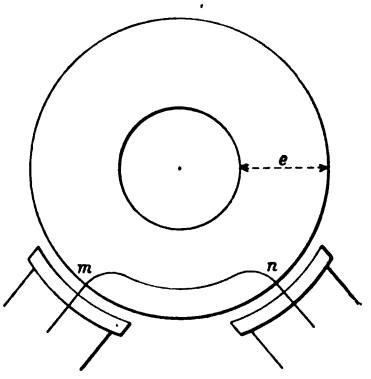


Fig. 5.

En projetant une dynamo, il convient de ne pas négliger les frottements sur les coussinets, surtout si le champ magnétique n'est pas symétrique. Dans le cas d'une machine du type dit supérieur, l'induit se trouve attiré suivant la flèche (fig. 6), et cet effet s'ajoute au poids de l'induit lui-même. Pour réduire cette poussée, on renforce les inducteurs vers la pointe, afin d'y faciliter le passage du flux de force.

On donne généralement aux inducteurs, dans le plan de l'axe, une épaisseur proportionnée au flux de force qui est supposé les traverser, dans l'hypothèse d'une répartition uniforme du flux dans l'entrefer. On obtient ainsi la forme d'inducteur représentée par la figure 7, où les fractions indiquent les rapports des épaisseurs suivant les lignes ponctuées à l'épaisseur *bc*. Mais il est préférable d'exagérer l'épaisseur ainsi calculée.

Dans le but de réduire les pertes par frottement au minimum, c'est-à-dire à une valeur de 2 à 5 p. 100, et aussi pour éviter les attrac-

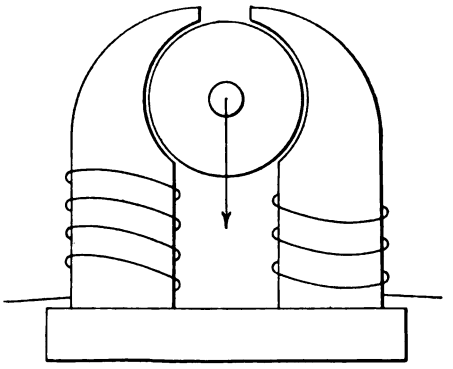


Fig. 6.

tions qui peuvent devenir très fortes, on adopte des dispositions symétriques pour les grandes machines. Si, en outre, on dispose les commandes pour diminuer les frottements qu'elles peuvent occasionner, on peut arriver à obtenir un rendement de 90 p. 100.

Le dessin de la dynamo étant arrêté, il y a

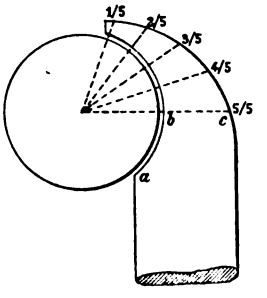


Fig. 7.

lieu de s'assurer qu'elle est bien appropriée à sa destination. L'étude de la caractéristique permet de procéder à cette vérification.

Si, par exemple, on désire une grande stabilité d'allure, la caractéristique doit avoir la forme ci-contre (fig. 8). La valeur OA de l'excitation normale doit correspondre à un point M de la courbe situé franchement à droite du coude.

Digitized by Google

En effet, au moment de la mise en marche, la machine étant froide, le courant inducteur est plus intense qu'en plein fonctionnement, et, lorsque le régime est établi, l'intensité tombe de la valeur OA à celle OB ; si alors le point M est suffisamment éloigné du coude, lorsque OA sera devenu OB, le point M, correspondra à un potentiel sensiblement égal à celui de M.

Pour obtenir une caractéristique de la forme de celle de la figure, il faut réduire l'entrefer et saturer suffisamment au moins l'une des pièces du circuit magnétique. Et c'est évidemment sur le fer induit qu'il est logique d'agir.

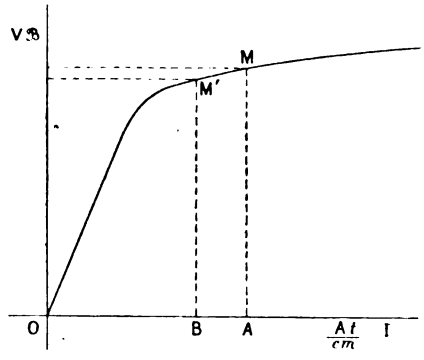


Fig. 8. — Caractéristique de grande stabilité d'allure.

Plus la saturation y est grande, moins il faut de cuivre autour de l'induit et, par suite, l'entrefer peut être notablement réduit.

Ainsi qu'il a été dit plus haut, une machine bonne pour un certain usage peut ne pas convenir pour un autre. Si, par exemple, une machine fonctionne pour fournir l'électricité nécessaire à l'éclairage par lampes, sous un voltage de 120 volts, elle peut ne pas convenir pour charger des accumulateurs pendant les heures où elle ne sert pas à l'éclairage. En effet, si on a 55 accumulateurs devant être au potentiel de $2^v,4$ à la fin de la charge, la machine ne pourra fournir les 132 volts ($55 \times 2,4$) nécessaires. La caractéristique d'une machine destinée à charger des accumulateurs, devrait présenter une forme moins coudée que la précédente, et telle qu'à deux points voisins M et M' correspond une différence de potentiel suffisante. Le point correspondant à 120 volts, devra alors être choisi à la naissance du coude.

De toutes les caractéristiques partielles qui concourent à l'établissement de la caractéristique totale, c'est celle qui correspond à la pièce la plus saturée qui donne sa forme à la dernière partie de la caractéristique totale. On peut, par suite, disposer les diverses parties de la machine pour obtenir l'effet désiré.

Dans les dynamos, il peut se produire des courants de Foucault en divers points, et il convient de prendre certaines dispositions pour les éviter. S'il s'agit, par exemple, d'une machine à grand débit (1000 ampères et au delà) et à faible tension (6 à 7 volts), telle qu'on

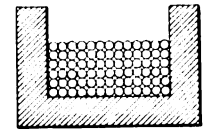


Fig. 9. — Gouttière en bois pour la confection de paquets de fils légèrement tordus.

en emploie pour la galvanoplastie, on est conduit à un nombre très réduit de spires. Aussi est-on souvent amené, pour arriver à un nombre de spires suffisant, à diminuer la longueur de chacune d'elles, quitte à augmenter le diamètre et diminuer la longueur de l'induit. Si, par exemple, la machine est prévue d'abord à deux pôles, et si le nombre des spires est égal à 8, il y a à redouter ces courants de Foucault dans les fils induits eux-mêmes, car l'arc occupé par une spire est trop grand pour que le flux de force varie de la même manière dans tous les fils réunis en quantité. On les atténue notablement en substituant aux bandes de cuivre, dans la construction de l'induit, des paquets de fils légèrement tordus en câble (2 torsions sur une longueur de 1 mètre). Ces paquets sont obtenus en plaçant les fils dans une gouttière en bois (fig. 9), en les maintenant fixes à une extrémité, en imprimant à l'autre extrémité un mouvement de torsion et en les refoulant ensuite dans la gouttière avec un maillet en bois.

Digitized by Google

M. Hopkinson a indiqué un moyen ingénieux de diminuer l'arc occupé par une spire. Pour l'appliquer au cas qui nous occupe, sur l'induit, on placerait 2 séries de 8 spires chacune, enchevêtrées entre elles et aboutissant à un collecteur formé de 2 séries de 8 lames chacune (fig. 10 et 11). Dans la même monture, on mettrait deux balais placés comme dans la figure, et il ne se produirait pas d'étincelles. Cette disposition équivaut à deux machines groupées en quantité.

Dans les induits dentés, la variation de flux se faisant en passant par les dents, les courants de Foucault ne sont pas à redouter dans les spires et on peut constituer celles-ci par des barres massives de grande section. Mais, si ces courants de Foucault ne se produisent pas dans l'induit à dents, ils peuvent se manifester dans les pièces polaires lorsque le jeu de l'entrefer est trop faible, par suite de l'inégale répartition du flux. Si l'entrefer est trop réduit (fig 12), le flux d'une dent passe tout entier en *ab*, tandis qu'il n'en passe rien en *bc*. Pour obvier à cet inconvénient, on prend $\delta \geqslant \frac{\varepsilon}{2}$ (fig. 13).

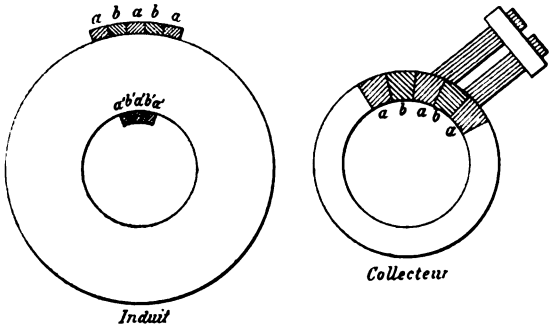


Fig. 10 et 11. — Disposition Hopkinson pour diminuer l'arc occupé par une spire.

Comparaison des divers types de bobinage induit. — Le bobinage à anneau est généralement adopté pour les machines à grande tension ; il permet de maintenir éloignés les fils entre lesquels la différence de potentiel est maxima. Celui à tambour convient bien pour les machines à moyenne et à faible tension. Les bobinages à disques sont utilisés dans les machines à régime moyen ; mais en raison de la facilité qu'on a de satisfaire à tous les besoins par l'emploi des deux premiers enroulements, ceux-ci sont les plus usités.

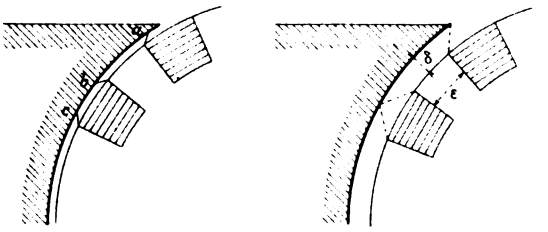


Fig. 12 et 13. — Influence de l'épaisseur de l'entrefer.

Dans un induit à anneau (A fig. 14), le flux n'embrasse que du fer, et l'induction y est égale à :

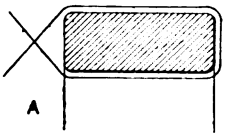


Fig. 14. — Induit à anneau.

$$\mathfrak{B} = \frac{\Phi}{S} = 16\,000 \text{ p. ex.}$$

La longueur du fil est minima.

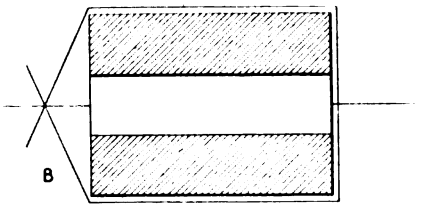


Fig. 15. — Induit à tambour.

Dans un induit à tambour (B fig. 15), en raison de l'évidement central le flux embrasse à la fois du fer et de l'air et l'induction moyenne dans le plan de la spire a pour valeur, à induction égale du fer,

$$\mathfrak{B}' = \frac{3}{4}\,\mathfrak{B} = 12\,000 \text{ p. ex.}$$

Digitized by Google

Dans un induit à disques (C, fig. 16), le fil embrasse le flux pendant qu'il traverse l'air; l'induction moyenne se trouve considérablement réduite. Elle a, par exemple, pour valeur :

$$\mathfrak{B}'' = 5\,000.$$

Un tel induit n'a pas d'hystérésis et son refroidissement est assuré; mais il présente une grande résistance intérieure, puisque la longueur du fil induit, toutes choses égales d'ailleurs, y est maxima.

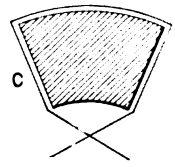


Fig. 16. — Induit à disques.

Détails de construction des induits. — Les induits à anneau et à tambour sont généralement formés de tôles ayant la moindre hystérésis possible. Le choix en est difficile, car des fers de même perméabilité peuvent donner une hystérésis variant dans le rapport de 1 à 3. Ces tôles sont employées sous les faibles épaisseurs de 0,3 à 0,5 mm. pour y éviter les courants de Foucault. Le contact toujours imparfait des tôles entre elles suffirait pour atténuer ces courants; on les isole cependant les uns des autres, mais d'une manière assez grossière, soit par un vernis, soit par du papier, soit en les oxydant, comme cela se pratique en Amérique.

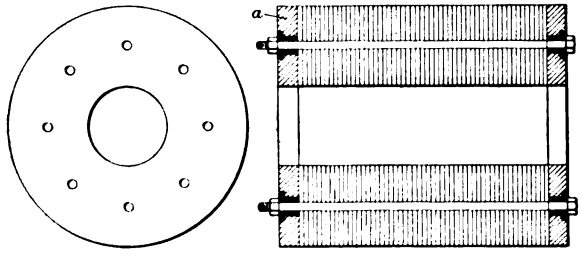


Fig. 17 et 18. — Assemblage des tôles d'un induit.

Les tôles sont assemblées à l'aide de plaques *a*, figures 17 et 18, et de boulons de barrage. Ces boulons, au nombre de huit par exemple, forment deux à deux des spires fermées. Pour y éviter les courants possibles, on isole les têtes au moyen de matières résistantes telles que le mica ou le carton fortement comprimé.

Quelquefois, les noyaux induits sont constitués par des fils de fer; mais ceux-ci ont l'inconvénient de coûter assez cher et de ne pas permettre une utilisation de l'espace aussi avantageuse que les tôles.

Dans les machines à disques, figure 19, l'induit est formé d'une carcasse en maillechort portant un nombre de bras égal à la moitié du nombre des pôles. Cette disposition a pour but d'éviter la formation d'un circuit fermé dans deux bras consécutifs.

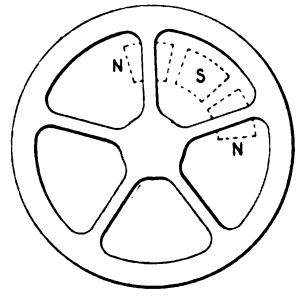


Fig. 19. — Carcasse d'un induit à disques.

Dans la disposition indiquée, il n'y a pas de variations de flux dans la spire formée par deux bras successifs. Il y est constamment nul.

R.-V. PICOU,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

UTILISATION
DES CHUTES DU NIAGARA
ÉTAT DES TRAVAUX

S'il faut en croire une lettre du professeur Forbes dernièrement publiée par le *Times* (et rien ne nous permet de douter de son exactitude, étant donné le caractère bien connu de l'écrivain), l'exécution, sinon encore totale, du

Digitized by Google

moins partielle de cette gigantesque entreprise serait, à l'heure présente, chose consommée. « Voilà trois ans, dit-il, qu'une lettre insérée dans ce même journal montrait comment les rêves de l'ingénieur étaient en voie de réalisation; trois années se sont écoulées et ma tâche est terminée. » En artiste épris de la grandeur et de la beauté de l'œuvre, l'éminent professeur, dans un style imagé et touchant au dithyrambe auquel il ne nous a pas habitués et où ne le suivrons pas, donne une vue d'ensemble de la splendeur du paysage et de l'état d'avancement des travaux qui se déroulent devant lui.

Le grand canal d'arrivée conduit l'eau à la vaste station centrale dans laquelle se trouvent trois turbines destinées à actionner trois dynamos de 5 000 chevaux chacune. L'eau est amenée aux turbines par des tuyaux de 2,30 m. de diamètre et passe de là sous la ville par un tunnel de 2,135 km. pour émerger au-dessous des chutes où elle est capable de développer une puissance de 100 000 chevaux. Ce premier bâtiment est relié à une autre construction, dite station des transformateurs, par un pont qui porte les câbles de l'un à l'autre.

Le service de toute nature, construction, exploitation et entretien, entre la station centrale proprement dite, à fleur de sol, et les profondeurs où sont montées les turbines, est assuré par une série d'installations électriques comprenant ascenseurs, élévateurs, éclairage, et desservant les quatre galeries principales et les trois galeries secondaires qui constituent la substruction. Les conducteurs en sont renfermés dans des tuyaux de fer intérieurement enduits d'un fort isolant pour prévenir toute détérioration pouvant provenir de l'humidité qui règne dans ces parages. Chaque lampe est hermétiquement enfermée dans un globe et tous les supports et accessoires en sont soigneusement établis à base de caoutchouc. La même installation comporte également les moteurs électriques et renvois destinés à l'ouverture et à la fermeture des vannes d'arrivée d'eau aux turbines, dont la manœuvre s'effectue avec la plus grande facilité grâce à un système de leviers équilibrés avec une rare perfection.

Le tout est actionné par des électro-moteurs Westinghouse de 8 kw., à courant continu, fonctionnant sous 220 volts.

Les grands alternateurs de 5 000 chevaux chacun ont été construits sur les études du professeur Forbes et les détails en ont été étudiés par les ingénieurs de la Westinghouse Company. L'un d'entre eux est représenté dans la figure ci-dessous qui facilitera l'intelligence de sa description.

Sur une fondation circulaire est boulonné un cylindre vertical en fonte muni d'un rebord sur lequel repose l'induit fixe. L'intérieur du cylindre est alésé en forme de cône renversé et sert de support à une autre pièce conique en fonte qui tient les coussinets de l'arbre. Le noyau d'induit est formé de feuilles de tôle oxydées serrées par 8 boulons d'acier au nickel. Le bord extérieur des lames de tôle est percé de 187 trous rectangulaires destinés à recevoir l'enroulement d'induit.

Le système inducteur extérieur, mobile, est constitué par un anneau en acier forgé sur lequel sont boulonnées les douze pièces polaires en fonte massive qui rayonnent vers le centre. Cet anneau est supporté par un manchon d'acier fondu à six bras claveté sur un arbre vertical. Ce système inducteur agit ainsi comme volant. L'arbre lui-même repose sur deux crapaudines maintenues par quatre bras qui partent du cylindre intérieur en fonte réglable à volonté. Les coquilles des coussinets sont en bronze; des rainures en zigzag y permettent une circulation continue d'huile. D'autres rainures également pratiquées à l'extérieur facilitent au besoin une injection d'eau froide.

Les conducteurs de l'induit sont des barres de cuivre rectangulaires de 32×8 mm., et chacun des 187 trous dont est percé le noyau d'induit en contient deux isolées au mica. Les parties supérieures et latérales de l'induit sont reliées à l'aide de barres de cuivre en forme de V, rivées aux extrémités des barres conductrices qui dépassent les bases de l'induit. Les

Digitized by Google

connexions sont établies de manière à donner deux circuits indépendants ; une paire de câbles relie chaque circuit au tableau de distribution. L'enroulement du système inducteur est également formé de barres de cuivre recourbées, isolées à l'air, enfermées dans des cages de laiton, fixées deux à deux sur les pièces polaires. Le courant continu pour l'excitation des inducteurs est fourni par un transformateur rotatif.

Ce courant est amené aux bobines induc-

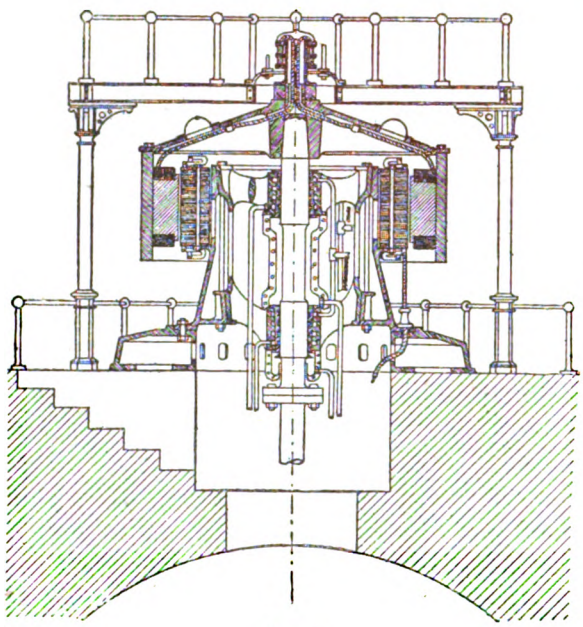


Fig. 1.

trices au moyen d'une paire de balais et de deux bagues de cuivre fixées au sommet de l'arbre de la génératrice. A la vitesse angulaire de 250 tours par minute la machine fournit deux courants alternatifs décalés d'un quart de période, de 775 ampères chacun sous une tension de 2250 volts. La fréquence est de 50 périodes par seconde. La machine a environ 4,10 m. de haut de la base de la plaque de fondation au sommet.

Les appareils de réglage sont placés à côté des alternateurs. Les leviers qu'ils actionnent sont équilibrés avec une délicatesse telle qu'il suffit d'un effort de 2 kg. à peu près pour mouvoir les valves massives d'une turbine : cet effort peut être exercé à la main ou automatiquement par l'appareil de réglage. Ce dernier est d'un type nouveau et extrêmement sensible aux variations de vitesse; il paraît donner d'excellents résultats dans les installations électriques. Il est calculé de manière à régler la vitesse dans les limites de 1/2 p. 100 en fonctionnement normal, et de 3 p. 100 environ pour une augmentation ou une diminution subite d'un quart de charge de la turbine, soit 1 250 chevaux. C'est là un très remarquable résultat pour un régulateur hydraulique quelconque, et le fonctionnement pratique de cet appareil sera suivi avec grand intérêt. Turbines et régulateurs ont été étudiés par la maison Paesch et Picard, de Genève. Pour une variation de pleine charge à charge nulle, comme en cas d'un court-circuit complet et de fusion des coupe-circuits, ou en cas de rupture erronée du circuit, les ingénieurs affirment que la vitesse angulaire ne dépasserait pas 400 tours par minute. Les turbines et leurs appareils accessoires sont étudiés pour résister à des efforts correspondant à 500 tours par minute, leur vitesse angulaire normale étant, comme on l'a vu, de 250 tours par minute.

Le mode de graissage n'est pas une des parties les moins intéressantes de l'installation ; il a été l'objet d'une attention toute particulière. Le réservoir principal d'huile claire est construit en acier et logé sous le toit de la station génératrice ; sa capacité est de 5,5 m.³ L'huile claire dont il est rempli est portée par des tuyaux de fer aux paliers des dynamos et peut également passer par les divers supports d'arbres, bien que ces derniers soient munis d'un graissage spécial et indépendant. Après avoir accompli son action lubrifiante, l'huile est amenée dans des cylindres-filtres, puis, après s'être clarifiée, elle est reprise par des pompes et renvoyée dans le grand réservoir principal. Les pompes servant à cet objet sont actionnées par l'eau perdue des turbines, recueillie dans un réservoir circulaire qui les entoure et qui donne encore une pression de 6,3 kg. par cm². L'huile provenant des paliers se lave tout d'abord en traversant une couche

Digitized by Google

d'eau dans le cylindre-filtreur, puis elle est forcée à travers un filtre à la partie supérieure de ce cylindre. Un seul cylindre et une seule pompe fonctionnent constamment ; les autres constituent une réserve en cas de nettoyage des premiers.

Ainsi que nous l'avons dit, les paliers de l'arbre principal sont lubrifiés d'une manière indépendante et leur mode de graissage est tout à fait nouveau. Une large coupe en fonte est fixée à l'arbre mobile, au-dessous des paliers ; cette coupe, qui a plus d'un mètre de diamètre, est remplie d'huile dans laquelle plonge un tuyau ; la force centrifuge fait élever cette huile à travers le tuyau jusqu'au haut du palier, d'où elle redescend, après l'avoir lubrifié, dans la coupe mobile. Pour alimenter cette coupe en huile fraîche, il suffit d'ouvrir une valve qui permet l'écoulement de l'huile ayant servi dans le réservoir placé au-dessous et l'arrivée d'huile claire venant du réservoir placé au-dessus.

Les paliers tant de l'arbre principal que de la dynamo sont également munis d'une circulation et de tuyaux disposés de manière à permettre à l'eau de la ville de les rafraîchir en cas de nécessité.

Dans la salle des machines est monté le tableau de distribution qui, étant données les proportions de cette installation, fait l'objet d'une véritable construction. Tous les commutateurs et interrupteurs y sont actionnés par des appareils à air comprimé analogues aux freins Westinghouse ; le compresseur d'air est lui-même alimenté par l'eau perdue des turbines situées au-dessous. A côté d'eux se trouvent les divers appareils indicateurs et de mesures tels que ampèremètres, voltmètres, etc., qui exigent l'attention des ingénieurs de service. L'ensemble est monté sur fondation en fer et brique, de 18,5 m. de long. sur près de 4 m. de large et 2,50 m. de haut. La construction en brique émaillée blanche a une belle apparence. Le côté voisin des générateurs est en panneaux émaillés unis, tandis que le côté opposé a dix portes de sapin blanc à fenêtres carrées en glace épaisse donnant sur la fondation où sont montés les principaux commutateurs et les câbles d'arrivée. Cette construction se trouve située juste au-dessus de la galerie souterraine par où passent les câbles allant à la station des transformateurs. Un escalier métallique conduit à la galerie inférieure, dont le sol est dallé en ardoise. La partie supérieure de la chambre des appareils est en glaces entourées d'une balustrade de cuivre et constitue une plate-forme réservée aux visiteurs. Cette chambre contiendra quelques-uns *des plus forts appareils* construits jusqu'ici et ne sera pas une des parties les moins intéressantes de l'installation. Les seuls instruments étrangers employés seront, dit-on, quelques wattmètres ; les voltmètres, ampèremètres et autres appareils de mesures seront fournis par la Weston Instrument Company et la Westinghouse Electric and Manufacturing Company.

Le courant continu destiné à l'excitation des alternateurs, ainsi que celui employé à l'éclairage des bâtiments et des constructions souterraines, à l'entraînement des moteurs pour ascenseurs, élévateurs, grues et manœuvre des vannes de turbines, sera finalement fourni par des transformateurs rotatifs établis au bout de la station génératrice, vers l'extrémité du tableau de distribution et directement au-dessus de la galerie souterraine. Ces transformateurs d'une puissance de 200 kilowatts, ont été étudiés par la Compagnie Westinghouse et sont du type à six pôles ; ils fourniront le courant sous différence de potentiel de 220 volts. Quatre transformateurs réducteurs fixes, dont deux de rechange, feront également partie de cette installation et seront montés dans la galerie souterraine juste au-dessus des transformateurs rotatifs à l'extrémité du tableau de distribution. Le courant d'excitation fourni par les transformateurs rotatifs est conduit de la galerie au-dessous de la chambre de distribution à la base de la dynamo par une canalisation sous le sol de la station génératrice, et de là aux balais des alternateurs par les colonnes verticales qui supportent la plate-forme de ces générateurs. Sous le sol de la

Digitized by Google

chambre des machines et le long de la façade de la chambre de distribution règne une fosse de 1,80 m. de large, sur 5,5m. de long et 3,6 m. de large, communiquant par une série de petites arcades avec la galerie sous la chambre de distribution, dans laquelle seront montées les résistances nécessaires aux différents réglages.

La salle des transformateurs a été aménagée en vue de contenir tous ceux qui seront nécessaires à l'utilisation prévue de 100 000 chevaux.

Le courant issu des alternateurs sera diphasé et quatre conducteurs seront nécessaires pour le porter en deux circuits des générateurs au tableau de distribution et à la salle des transformateurs. On pense que, au lieu d'employer sur tout le circuit des courants diphasés, suivant la conception première, on pourrait bien en arriver, si ce n'est déjà fait, à convertir aux transformateurs le courant diphasé en courant triphasé, ce qui permettrait de n'employer que trois conducteurs, au lieu de quatre.

Tandis que les travaux d'application marchent ainsi vers un prompt achèvement qui, d'après la date de ces derniers renseignements, doit être aujourd'hui réalisé, les dispositions prises en vue de leur utilisation progressent rapidement, et, vendant la peau de l'ours avant qu'il ne fût à bas, les industriels américains n'ont pas hésité à déplacer leurs usines ou à en construire de nouvelles dans ce nouveau centre qui, aussi bien que les villes voisines, présentera au XX^{e} siècle étonné d'immenses cités manufacturières sans fumée, dont les ateliers, les tramways et chemins de fer, l'éclairage et le chauffage seront alimentés par le courant électrique.

Déjà se trouvent groupées dans le voisinage de vastes usines utilisant la puissance hydraulique ou attendant l'énergie électrique ; l'une emploie 3 300 chevaux, une autre 300, une troisième 1 500 et il s'élève un moulin qui en absorbera 1 000. Déjà apparaît le village modèle pour les ouvriers, avec les travaux de dessèchement et de drainage qu'il exige, les pompes pour la fourniture de l'eau, ses rues bien pavées. On voit surgir les docks où pourront se décharger les navires venant de tous les points du grand lac, tandis que le chemin de fer de la Compagnie traversant tout son territoire sur une longueur de plus de 11 km. reliera chaque usine aux grandes lignes de communication. Une des premières productions de cette nouvelle source d'énergie sera celle de l'aluminium qui absorbera 1 500 chevaux. De nouveaux types de machines ont été créés à cet effet et pour toutes autres applications, et les critiques relatives au coût de la fourniture électrique de l'énergie ont disparu devant les résultats obtenus, le rendement de chaque type de machines étant supérieur à ce qui avait été précédemment atteint.

Les études pour le transport de l'énergie à Buffalo, située à 20 km. de distance, sont terminées, et cette ville sera alimentée d'ici à un an. Dans deux ans la rive canadienne des chutes du Niagara profitera des mêmes avantages, et dans dix ans (on peut l'espérer) la totalité des 100 000 chevaux que permettent de fournir les travaux hydrauliques actuels sera utilisée.

L'œuvre de l'ingénieur touche à sa fin ; la période financière commence. Le gain de dividendes et la commande des machines doublant les premières incombent maintenant à la Compagnie.

« Comme conclusion », dit, en terminant, le professeur Forbes, « il est difficile de décerner la palme de la hardiesse, soit aux capitalistes qui se sont engagés dans l'opération avant la mise au point des projets qu'elle comportait, soit aux industriels qui ont transplanté leurs usines sur ce nouveau champ d'exploitation avant qu'aucun résultat ait encore été obtenu. Cette fougue est bien, de part et d'autre, dans le caractère américain ; mais sa confiance n'a pas été mal placée : le succès est désormais assuré. »

E. BOISTEL.

Digitized by Google

LE TRAMWAY ÉLECTRIQUE

A RAIL SECTIONNÉ

SYSTÈME CLARET ET VUILLEUMIER

La traction électrique par accumulateurs, la première en date, a le mérite d'être d'une grande simplicité. Mais les accumulateurs sont des appareils très lourds et dont l'entretien nécessite souvent des dépenses coûteuses. On ne peut du moins expliquer que de cette manière le peu de développement qu'a pris jusqu'à ce jour ce genre de tramways.

Les tramways à fil aérien avec prise de courant par trolley sont employés dans la plupart des villes américaines, tandis qu'en Europe leur nombre est relativement restreint. Ce mode de traction est d'une installation simple et peu coûteuse. Son fonctionnement est également simple et économique. Il permet d'utiliser des tensions de 500 volts sans grand danger, — quoiqu'il y ait déjà eu des exemples d'accidents provoqués par des ruptures du fil aérien.

Certains partisans du système aérien prétendent que les fils conducteurs, même avec des croisements, peuvent être posés dans les rues les plus fréquentées sans nuire en rien à l'esthétique, et sont même d'un effet décoratif. D'autres personnes soutiennent au contraire que le fil aérien est affreux et doit être proscrit de toute ville, village, voire même hameau. Il est bien évident que la vérité se trouve généralement entre ces deux opinions. Il n'y a pas de raison sérieuse, par exemple, pour rejeter l'emploi des tramways à fil aérien lorsqu'ils doivent circuler dans la campagne ou dans les voies larges et peu fréquentées des faubourgs. Dans l'intérieur des villes, l'importance de la question d'esthétique varie suivant l'appréciation personnelle de chacun, mais il est certain que cette question n'est pas négligeable, et si l'on parvient à réaliser un système de tramway fonctionnant régulièrement sans fil aérien, on lui donnera bien souvent la préférence sur le tramway à trolley, même s'il coûte un peu plus cher d'établissement et d'entretien.

Aussi les inventions conçues dans cet ordre d'idées sont-elles nombreuses.

Nous avons d'abord le tramway à trolley souterrain, qui consiste à disposer à la partie inférieure du véhicule une sorte de trolley ou roulette de contact prenant le courant sur un conducteur isolé, placé dans un caniveau ouvert analogue à celui des tramways funiculaires. Le tramway de Budapest est probablement le seul tramway à trolley souterrain qui existe en Europe. Quelques tramways du même genre ont été installés récemment en Amérique, mais c'est plutôt à titre d'essai que comme installation définitive. Le système à trolley souterrain semble avoir peu d'avenir. Il fonctionne assez régulièrement, mais il demande un grand entretien si l'on veut conserver un bon isolement au conducteur souterrain et empêcher l'encrassement des contacts dans le caniveau. On peut arriver à vaincre ces difficultés ; malheureusement le prix de la traction se trouve alors beaucoup trop élevé, parce que les dépenses d'entretien viennent s'ajouter aux dépenses d'amortissement qui sont déjà considérables. En effet, quelle que soit la disposition employée, l'établissement d'une ligne électrique dans un caniveau ouvert coûte toujours cher.

Certains inventeurs ont cherché à réduire l'entretien des tramways à conducteurs souterrains en supprimant le caniveau ouvert et en le remplaçant par un caniveau fermé contenant un conducteur principal relié aux machines de l'usine. Le courant est amené sur la voiture par deux frotteurs qui viennent s'appliquer sur un rail conducteur placé à fleur de sol et divisé en tronçons un peu moins longs que le véhicule. Les tronçons de rails ne sont parcourus par le courant qu'au moment du passage des véhicules, au moyen d'un système automatique reliant momentanément le conducteur principal au rail. Le premier tramway à rail sectionné qui ait été imaginé

Digitized by Google

est probablement le système *Pollak* dont les brevets datent de novembre 1886.

Les tramways à contact sectionné appartiennent à différentes catégories.

Dans les systèmes proposés au début, tels que ceux de *Lineff*, *Schuckert*, etc., l'attraction magnétique qui amène le conducteur principal au contact des rails sectionnés à l'aide d'une barre de fer flexible ou d'un amas de limaille de fer, s'exerce progressivement sur toute la longueur de la voie. Le caniveau fermé a donc une section uniforme sur toute sa longueur, ce qui rend sa construction très coûteuse. En outre, le fonctionnement du contact magnétique n'est pas très régulier parce que l'humidité s'introduit facilement, même dans le caniveau fermé, et oxyde en certains points la barre ou la limaille de fer.

Les systèmes *Pollak*, *Smith*, *Siemens*, *Westinghouse*, etc., sont déjà beaucoup plus simples. Le caniveau fermé est complètement supprimé et le conducteur principal, qui est isolé, est simplement posé en terre. Ce conducteur est relié à chaque tronçon de rail, au moment du passage du tramway, par un contact magnétique, au moyen de pièces logées dans une sorte de boîte ou cavité fermée qui vient affleurer le sol. Ces appareils sont plus robustes, puisqu'au lieu d'une attraction magnétique continue, il n'y a plus qu'un nombre d'attractions égal au nombre de tronçons de rails. Ces systèmes sont un peu moins onéreux à établir que les précédents, mais la nécessité d'avoir autant de boîtes de contact que de tronçons de rail les rend encore trop coûteux.

On a proposé aussi d'autres systèmes dans lesquels le conducteur principal est enfoui à demeure dans le sol comme précédemment. Ce conducteur porte des branchements qui se rendent dans des trappes ou cavités ouvertes, en nombre égal à celui des tronçons de rails et généralement reliées entre elles par un petit caniveau entièrement vide. Les trappes portent des pièces métalliques, mais non en fer, qui réunissent électriquement le conducteur principal aux tronçons de rails au moment du passage des tramways. Mais ici le contact au lieu d'être créé par une action magnétique est produit par une action purement mécanique au moyen d'une pièce spéciale placée sur le véhicule. Ces systèmes exigeant autant de trappes que de sections de rails ont le même inconvénient que les précédents, d'être trop coûteux. Mais les trappes de contact doivent fonctionner beaucoup plus régulièrement, parce qu'étant manœuvrées mécaniquement elles n'ont pas les mêmes causes de dérangement que des boîtes électromagnétiques. Le défaut d'isolement des pièces de contact et l'encrassement dans ces trappes sont beaucoup plus faciles à éviter que dans le système à trolley souterrain.

En supposant que le fonctionnement de ces divers systèmes de tramways à rails sectionnés soit suffisamment régulier, ils ont tous un grave inconvénient qui a empêché leur réalisation pratique, c'est que leur construction est beaucoup trop onéreuse. Il faut, en effet, avec tous ces systèmes, installer autant de boîtes de distribution que de tronçons de rails, c'est-à-dire tous les 6 mètres environ, ce qui conduit à installer un nombre considérable de boîtes ou de trappes de distribution rendant le système très coûteux.

La question des tramways à rails sectionnés est entrée dans une phase nouvelle avec le système *Gordon* (1) proposé en 1890, et qui réalise un grand progrès sur tous les systèmes antérieurs. Malheureusement l'auteur, mort par accident en février 1893, n'a pas eu le temps d'expérimenter son système. Gordon est le premier qui ait songé, croyons-nous, à réunir en un seul poste ou appareil distributeur les appareils magnétiques nécessaires pour commander la distribution du courant dans 12 sections de rails. Le système Gordon consiste à installer au milieu de chaque groupe de 12 tronçons de rails un distributeur logé dans une boîte close. Le distributeur se compose (fig. 1) d'une couronne de contacts $1'...4', 5', 6', 12'$ reliés par de petits câbles aux rails correspon-

(1) Voy. *La Lumière Électrique*, 4 juillet 1891, p. 23.

Digitized by Google

dants 1, .., 4, 5, 6, 12 et branchés tous en dérivation sur un bloc central A. En face des contacts se trouvent des électro-aimants 1″, 4″, 5″, 6″, 12″ montés en série sur les 12 câbles de branchement. Le courant provenant du câble principal arrive au curseur et au bloc A après avoir traversé un électro-aimant central D. Le courant arrivant par le câble M et le curseur B est envoyé successivement sur les rails 4, 5, 6, 7 à mesure que le curseur B vient

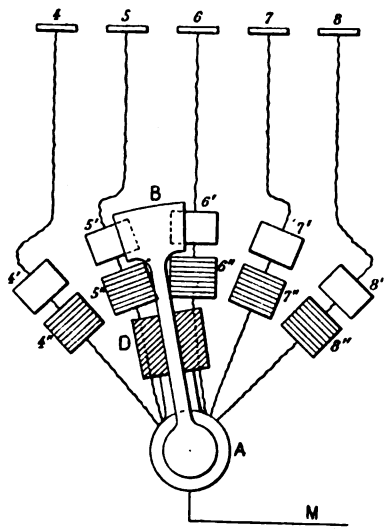


Fig. 1. — Distributeur Gordon.

s'appuyer sur les touches 4″, 5″, 6″, 7″. Le déplacement du curseur est produit par l'attraction qui s'exerce successivement entre les électro-aimants 4″, 5″, 6″, 7″ et l'électro-aimant central D. Ce déplacement est commandé par la marche même du tramway, car la longueur du véhicule est telle qu'avant de quitter un rail il s'engage sur le rail suivant, et le courant traverse ainsi successivement les électro-aimants 4, 5, 6, 7. Le distributeur porte autant d'électro-aimants que de sections de rails et en possède même quelques-uns en plus destinés au passage d'un groupe de 12 rails au groupe suivant.

A première vue, le système Gordon semble différer bien peu des systèmes précédents à attraction ordinaire, puisqu'il a autant d'électro-aimants que ces derniers. Mais au point de vue pratique, sa supériorité est grande. Le transfert des électro-aimants correspondant à 12 rails dans une seule boîte procure une économie considérable dans la construction de la voie et rend le système industriellement réalisable.

Les dispositions adoptées par Gordon dans son distributeur ont pourtant encore l'inconvénient d'être compliquées, et si l'appareil avait été réalisé il n'est pas certain qu'il eût fonctionné longtemps sans dérangement, à cause du trop grand nombre d'électro-aimants.

Nous ignorons si M. Vuilleumier a eu connaissance des travaux de Gordon ; nous constaterons simplement que le système Claret et Vuilleumier, qui date de 1893, comprenait au début, d'après la communication de M. Vuilleumier à la Société des Électriciens, un distributeur portant autant d'électro-aimants que de sections de rails, c'est-à-dire que l'appareil Vuilleumier était tout à fait semblable en principe au distributeur Gordon.

M. Vuilleumier s'est sans doute aperçu que le fonctionnement d'un tel distributeur laisserait à désirer, et il a le mérite d'avoir apporté à l'appareil des perfectionnements qui l'ont rendu pratique en le simplifiant considérablement Au lieu de faire usage de douze électro-aimants pour une boîte distribuant le courant à douze rails M. Vuilleumier est arrivé à ne plus employer par distributeur qu'un seul électro dont le bon fonctionnement est à peu près certain.

La différence entre ce nouveau système Vuilleumier et le système Gordon réside en ce que la rotation du distributeur, au lieu d'être produite par la succession des douze mouvements intermittents d'attraction des douze petits électro-aimants séparés par l'électro-aimant central, est créée par un couple permanent constitué par un poids ou un ressort qui tend à faire tourner constamment l'appareil. Mais le distributeur se trouve arrêté dans son mouvement par une roue à rochets à 12 dents, montée sur son axe et retenue par un cliquet. L'électro-aimant unique a pour effet de déclancher le

Digitized by Google

cliquet, ce qui permet à la roue de se mettre en mouvement sous l'impulsion du couple moteur. Les dispositions du distributeur sont telles que le courant n'est envoyé dans l'électro-aimant que pendant un instant très court. Le cliquet retombe dans l'encoche suivante de la roue bien avant que celle-ci ait parcouru 1/12 de tour, de sorte que le distributeur ne peut tourner que de 1/12 de tour, après quoi il s'arrête et n'effectue une seconde rotation de 1/12 tour que lorsque le courant est lancé une seconde fois dans l'électro. La rotation du distributeur se produit donc sous l'action d'un couple permanent, par douze mouvements successifs de 1/12 de tour, provoqués par l'envoi, douze fois répété du courant, dans l'électro-aimant.

La figure 2 montre comment l'émission du courant dans l'électro se trouve commandée par la marche de la voiture. Le pôle négatif de la dynamo G est réuni directement aux deux rails de roulement de la voie. Le pôle positif est relié à un câble principal isolé X. Le pôle négatif du moteur V du tramway est en communication permanente avec le pôle négatif de la dynamo G par le châssis métallique du véhicule et de la voie de roulement. Le pôle positif du moteur V se trouve également relié d'une façon permanente au câble isolé positif X, mais par l'intermédiaire des frotteurs *ff'*, de la voie à rails sectionnés 1, 2, 3, 4, etc., et d'un distributeur.

La voie spéciale de distribution de courant, placée au milieu des deux rails de roulement, est formée de bandes de fer de 4 mètres de longueur environ, isolées entre elles et séparées par des intervalles de 4 mètres. La largeur des frotteurs *f* et *f'* du véhicule et leur écartement sont tels que le curseur d'avant vient frotter sur un des rails sectionnés avant que celui d'arrière ait quitté le rail précédent, et inversement. C'est pendant le court espace de temps où les deux curseurs frottent sur deux sections différentes que le courant est envoyé dans l'électro-aimant du distributeur, comme on le verra plus loin.

Les distributeurs, placés à 100 mètres de distance environ les uns des autres, se composent d'une couronne fixe portant onze touches pleines 1, 2, 3, 4, ..., 11 reliées par des câbles aux onze sections de rails 1, 2, 3, 4, ..., 11. La douzième touche du plateau est double; elle se compose d'un segment relié au rail 12 et d'un segment isolé situé à l'intérieur du premier. Le dernier rail 12 du distributeur de gauche constitue le premier rail ou rail 1' du distributeur de droite, c'est-à-dire que ce rail est relié en parallèle à la fois à la touche 12 du distributeur de gauche et à la touche 1' du distributeur de droite.

Au centre du distributeur se trouve un plateau mobile portant plusieurs anneaux en cuivre sur chacun desquels frotte un balai fixe ; supposons d'abord que l'anneau extérieur n'existe pas, non plus que le bras appuyé sur la touche 4 et les fils marqués en pointillé (fig. 2) et qu'il ne reste que les deux anneaux situés le plus au centre. Sur l'anneau intérieur frotte un balai fixe réuni au câble principal isolé X, et sur l'anneau suivant un balai relié à l'électro-aimant C. L'anneau intérieur est solidaire d'un bras large et court qui frotte sur les touches de la couronne fixe. Ce bras ou manette, qui conduit le courant du câble X au moteur de la voiture, (il est indiqué sur le distributeur de gauche du dessin comme appuyant sur la touche 5) ayant une largeur plus grande que l'écartement des touches ne quitte une touche qu'après avoir pénétré sur la suivante. Mais ce bras a une longueur telle que lorsqu'il se trouve sur la douzième touche il n'appuie que sur le segment isolé, comme il est indiqué sur le distributeur de droite. La manette longue qui appuie sur la touche 6 du distributeur de gauche, (voir fig. 2) et qui est calée à 30° de la première, présente au contraire une longueur suffisante pour appuyer sur le segment externe de la touche 12, mais sa largeur est assez faible, et après avoir quitté une touche elle reste assez longtemps avant d'aborder la suivante. Ce bras ou manette, qui est solidaire de la seconde couronne, sert dans la plus grande partie de sa course à amener dans

Digitized by Google

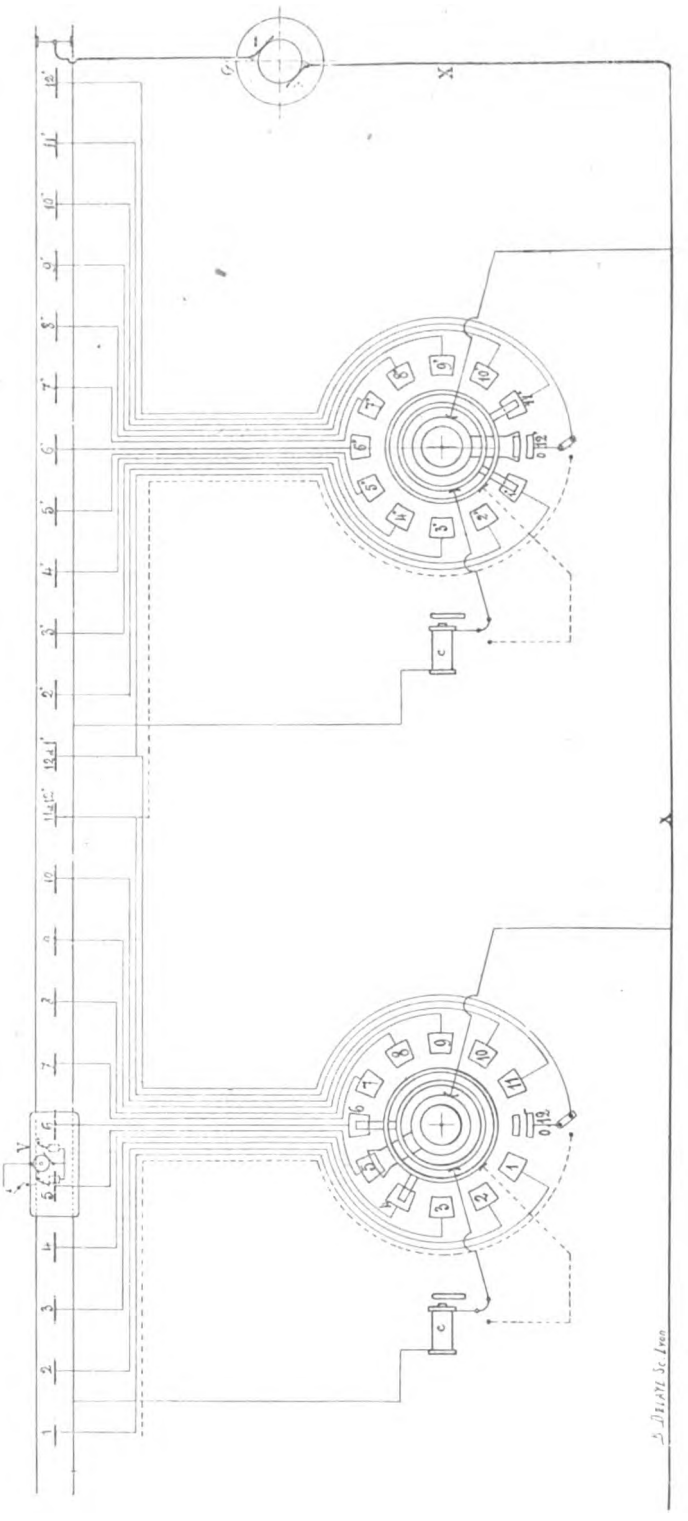


Fig. 2 — Schéma du système Claret et Vuillemier pour la commande du distributeur par la voiture en marche.

Digitized by Google

l'électro-aimant C un courant pris en dérivation sur la voie sectionnée.

Le rôle du distributeur est de n'envoyer le courant principal que dans le rail unique ou les deux sections de rails couverts par le véhicule en marche, c'est-à-dire que lorsque les frotteurs de la voiture quittent un rail pour s'engager sur un autre le courant doit être envoyé dans le second rail et coupé dans le premier. Cette opération se trouve effectuée automatiquement et synchroniquement par la disposition même des organes de l'appareil.

Dans la position indiquée sur la figure 2, par exemple, le véhicule, qui s'avance de gauche à droite, frotte par son curseur d'arrière *f* sur le rail 5. Le courant se rend du câble X au frotteur *f* et de là au moteur V par la couronne intérieure et la large manette qui appuie sur le milieu de la touche 5 du distributeur de gauche. Il ne passe alors aucun courant dans l'électro C puisque la longue manette qui se trouve au milieu de la touche 6 a son rail 6 isolé. Tant que le frotteur *f'* se trouve dans l'intervalle des rails 5 et 6, le courant ne passe pas dans l'électro C, le cliquet est enclanché dans la roue à rochets et l'appareil reste au repos. Mais lorsque le frotteur d'avant *f'* de la voiture arrive sur le rail 6, le frotteur d'arrière *f* n'a pas encore quitté le rail 5. Une partie du courant amené au frotteur *f* traverse l'électro C en passant par le frotteur *f'*, le rail 6, la touche 6, la seconde couronne et son balai fixe relié à l'électro. A ce moment le cliquet étant attiré par l'électro, la roue à rochets est rendue libre et le plateau entier se met en mouvement sous l'influence du couple moteur; la courte manette, qui est plus large que l'intervalle de deux touches passe sans interruption de la touche 5 à la touche 6. La longue manette se dirige en même temps de 6 vers 7; mais comme elle est étroite elle quitte la touche 6 bien avant que la courte manette soit arrivée au milieu de 6, c'est-à-dire qu'avant que le plateau ait tourné de 1/12 de tour le courant est coupé dans l'électro ; le cliquet s'engage alors dans la dent suivante de la roue à rochets, et la roue se trouve arrêtée après avoir tourné de 1/12 de tour. A ce moment, la courte manette occupe le milieu de la touche 6 et la longue manette le milieu de la touche 7; le courant principal arrive au moteur par la touche 6 et le rail 6, tandis que la touche 7, la longue manette et l'électro restent isolés jusqu'au moment où le frotteur d'avant *f'* de la voiture s'engage sur le rail 7 et fait tourner d'une touche le plateau et les manettes.

La même manœuvre se répète au fur et à mesure de l'avancement de la voiture chaque fois que celle-ci a parcouru la longueur d'une section de rail et d'un intervalle. Tant que les frotteurs du véhicule n'ont pas dépassé le rail 11 le distributeur de droite est au repos, c'est-à-dire que sa courte manette est sur le segment isolé de la touche 12 et sa longue manette sur la touche 1'. Au moment où le courant arrivant par le rail 11 et par la touche 11 du distributeur de gauche le frotteur d'avant *f'* s'engage sur le rail 12-1', les deux distributeurs fonctionnent simultanément. En effet, le rail 12-1' étant relié au segment externe de la touche 12 envoie une dérivation du courant pris sur la voie sectionnée dans l'électro C du distributeur de gauche par la grande manette; étant relié aussi à la touche 1', il envoie en même temps une seconde dérivation du courant dans l'électro C du distributeur de droite par la touche 1' et la grande manette de ce distributeur. Le distributeur de gauche fait alors 1/12 de tour et sa grande manette venant appuyer sur le segment isolé de la touche 12 il se trouve mis au repos. Le distributeur de droite tourne également de 1/12 de tour; sa grande manette vient sur la touche 2' et le courant est envoyé dans la voiture par la courte manette et la touche 1 dans le rail 12 fonctionnant comme rail 1'. A partir de ce moment le distributeur de droite continue seul à fonctionner.

Le distributeur dont nous venons d'expliquer le mécanisme ne pourrait être appliqué qu'à des véhicules marchant toujours dans le même sens, parce qu'une roue à rochets ne

Digitized by Google

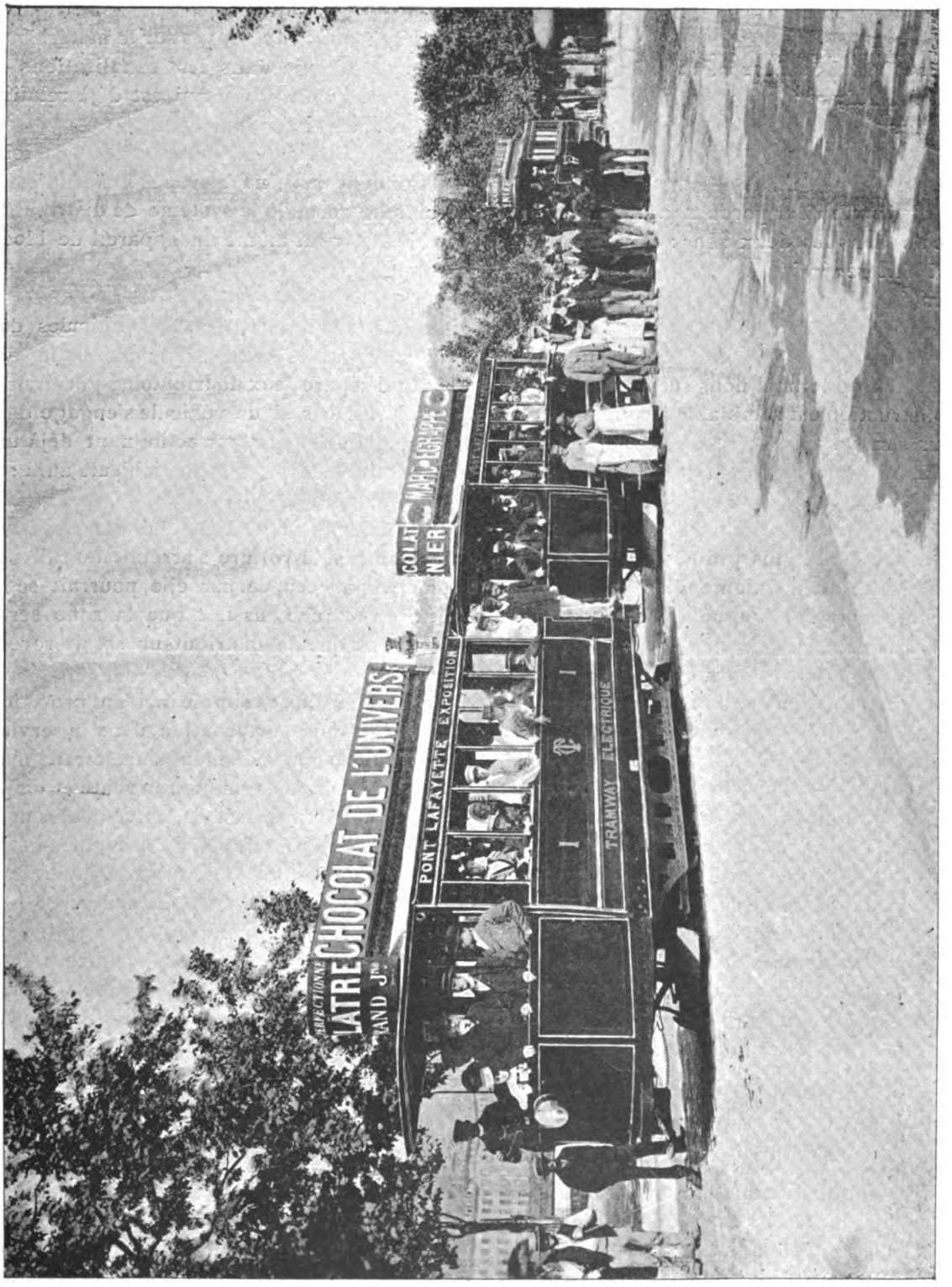


Fig. 3. — Une station du tramway électrique Claret et Vuilleumier.

Digitized by Google

peut tourner que dans un sens déterminé. Cette condition supposerait une ligne de tramway entièrement construite à double voie et par conséquent très coûteuse, et même dans ce cas il faudrait encore s'astreindre à ne jamais faire la marche arrière, que les nécessités du service rendent souvent indispensable.

C'est pourquoi M. Vuilleumier a établi un type de distributeur permettant la marche du véhicule dans les deux sens : c'est le modèle dont il fait généralement usage et qui est représenté sur la figure 2.

L'explication complète du fonctionnement de ce distributeur à deux directions nous entraînerait trop loin ; il nous suffira de dire que sa construction est semblable à celle du distributeur simple, mais qu'il porte une deuxième roue à rochets commandée par un deuxième électro-aimant, et une troisième bague. Ce troisième anneau concentrique est celui dont le diamètre est le plus grand ; il est relié par un balai fixe au deuxième électro-aimant et porte une manette longue et étroite placée symétriquement (en 4 sur le distributeur de gauche et en 4' sur le distributeur de droite de la figure 2) à la première manette longue, c'est-à-dire calée à 30 degrés : une touche en arrière de la manette large de distribution. Les connexions relatives à cette deuxième partie du distributeur sont indiquées en pointillé sur la figure 2.

En tant que pièce mécanique, le distributeur à deux directions n'est pas beaucoup plus compliqué que le distributeur simple ; mais il est certain que la marche de cet appareil dépendant de deux électro-aimants au lieu d'un seul son fonctionnement est plus délicat, et il doit être plus sujet à dérangements.

D'après ce qui précède, on voit aisément que le distributeur Vuilleumier, qu'il soit à simple ou à double direction, doit conserver, pour marcher régulièrement, une concordance exacte entre l'attraction des électro-aimants et la marche du véhicule.

Si pour une raison quelconque l'électro-aimant d'un distributeur n'agit pas à temps, les voitures s'arrêteront successivement dans la zone du distributeur. Mais il ne peut pas se produire d'accidents graves sur le matériel tels que court-circuit dans les canalisations ou dans le distributeur, ce qui est déjà relativement avantageux.

Les collisions, en supposant que les freins fonctionnent mal, ne sont pas à craindre, car en marche normale le système de distribution constitue par lui-même un appareil de block-système.

Pour pouvoir circuler, les véhicules doivent se trouver écartés d'au moins la distance qui sépare deux distributeurs soit environ 100 mètres, car si un véhicule s'engage dans la zone d'un distributeur actionnant déjà une autre voiture, le moteur du véhicule aura son courant coupé.

Cet incident n'aurait par lui-même aucune importance si la voiture s'arrêtait au rail 1 de la zone déjà occupée, car elle pourrait se remettre en marche aussitôt que la zone serait dégagée et que le distributeur serait revenu au repos.

Mais en réalité, ce simple incident provoquerait une grande perturbation dans le service, car la voiture non seulement s'arrêterait, mais ne pourrait plus se remettre en route et empêcherait ainsi d'avancer tous les véhicules marchant derrière. En effet, la voiture qui pénétrerait dans une zone occupée continuerait sa marche pendant quelque temps en vertu de la vitesse acquise. Comme elle se trouverait alors sur un rail intermédiaire entre 1 et 12 au moment où elle s'arrêterait, elle se trouverait complètement isolée, même lorsque le distributeur reviendrait au repos au point 12, une fois la zone dégagée.

Il ne resterait qu'un moyen de remettre le véhicule en marche, ce serait de faire fonctionner à la main le distributeur jusqu'à ce qu'on ait atteint la touche correspondant au rail sur lequel la voiture s'est arrêtée.

Nous ne pensons pas qu'aucun incident de ce genre se soit produit sur le tramway installé l'année dernière du pont Lafayette au

Digitized by Google

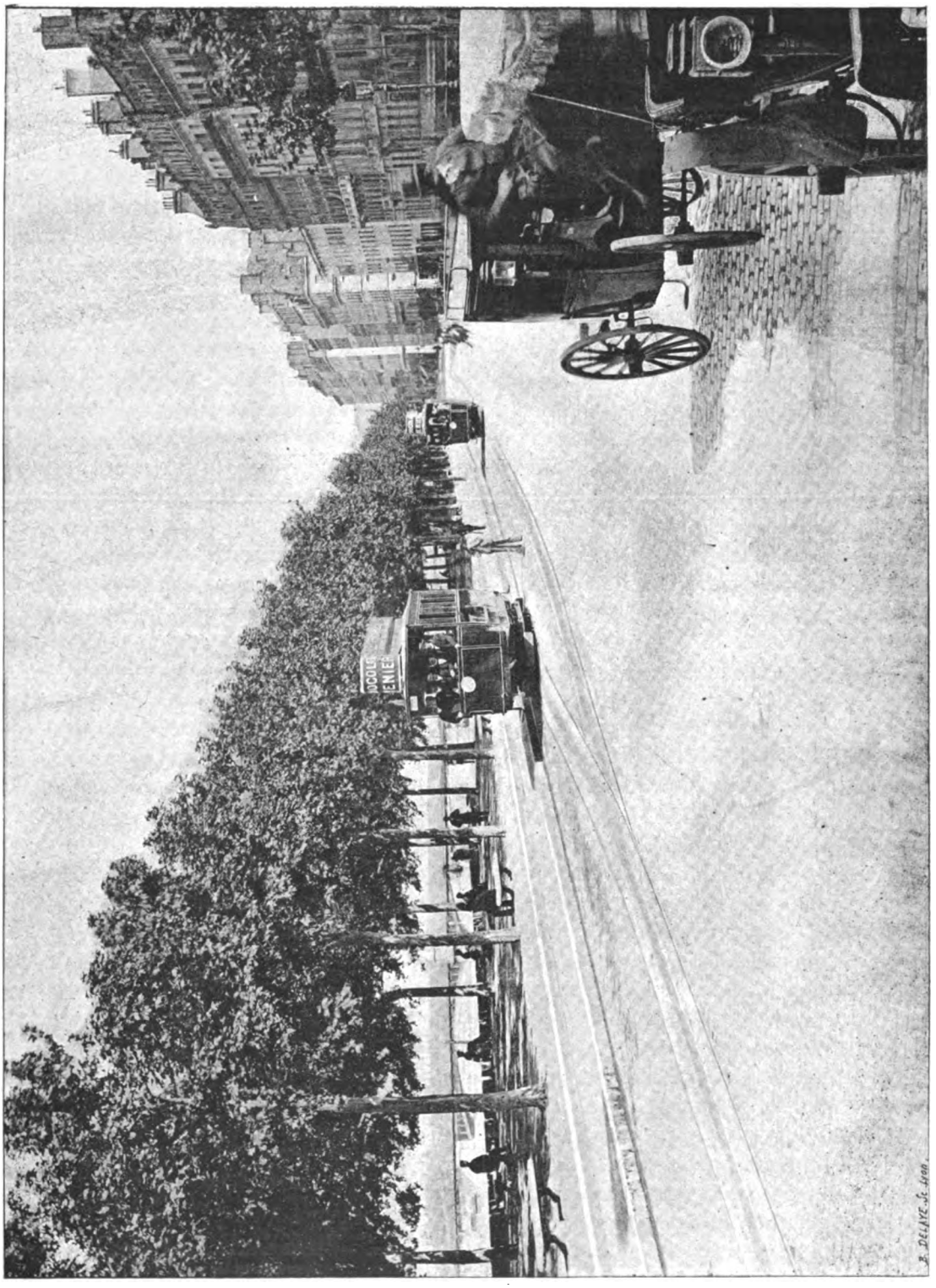


Fig. 4. — Vue du tramway électrique, prise des quais du Rhône.

Digitized by Google

parc de la Tête-d'Or par MM. Claret et Vuilleumier, parce que la ligne ne suivait que des voies peu fréquentées, comme le montrent les figures 3 et 4 qui sont des vues du tramway, prises sur les quais du Rhône. Mais il est fort possible que des incidents semblables se manifestent sur une ligne à grand trafic dans une voie très encombrée, car il suffit pour leur donner naissance qu'un véhicule se trouve arrêté momentanément par un embarras de voiture, et que le conducteur du véhicule suivant, jugeant mal les distances, arrête sa voiture à moins de 100 mètres du premier véhicule.

C'est là un inconvénient d'exploitation dont il faut tenir compte et auquel M. Vuilleumier n'a probablement pas songé, ou s'il y a songé il n'a pu y remédier qu'au prix d'une complication sensible des appareils.

(*A suivre*). CH. JACQUIN.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Économisateur Hardtmuth pour lampe à arc.

Cet appareil, déjà décrit dans le numéro du 1er décembre de cette Revue, vient d'être soumis à quelques essais par la Compagnie Edison pour l'éclairage électrique.

Rappelons qu'il se compose d'un manchon supporté par un étrier fixé à un cadre, lequel est muni à sa partie inférieure d'un anneau muni de trois pointes de platine. L'appareil repose par ces pointes sur le charbon négatif inférieur ; le charbon positif passe à travers le manchon. Celui-ci est garni intérieurement d'une matière isolante et il est protégé inférieurement par une matière réfractaire.

Les essais faits au Laboratoire d'électricité de Vienne avaient montré que l'usure des charbons est considérablement réduite par l'emploi de cet appareil, principalement celle du charbon positif. Les essais de la Compagnie Edison confirment ces résultats.

Dans ces derniers essais on comparait deux lampes à arc en tension, ayant, l'une, des charbons à section carrée de 12 mm. de côté, l'autre, des charbons de 17 mm. de côté ; la première était munie de l'économisateur Hardtmuth. Il a été constaté que, dans ces conditions, les charbons de 12 mm. duraient aussi longtemps que ceux de 17 mm. En outre il a été reconnu, en déplaçant un écran Bunsen entre les deux lampes, que la première produisait à 36 pas de distance le même éclairement que la seconde à 32 pas. Le rapport des intensités lumineuses suivant une direction un peu inclinée sur l'horizontale était donc de $\frac{36^2}{32^2}$, d'où l'on conclut que l'intensité lumineuse de la lampe munie de l'économisateur est d'environ de 26 p. 100 supérieure à celle de l'autre lampe.

Ces résultats montrent que l'emploi de l'appareil Hardtmuth assure une économie incontestable. Malheureusement il semble que, pour la densité de courant employée (1 ampère par 144 mm². de section de charbon), la matière isolante du manchon se trouve détériorée assez rapidement. Il serait donc utile de rechercher une matière résistant mieux à la chaleur.

J. R.

Plomb fusible Siemens et Hird (1895).

Spécial pour les hautes tensions. Un bloc de porcelaine C, attaché au circuit en DD percé

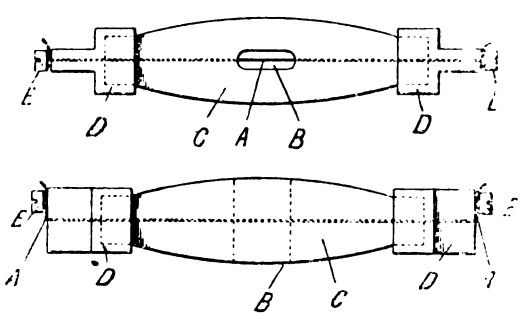


Fig. 1 et 2. — Plomb fusible pour circuit à haute tension Siemens et Hird (Hird).

suivant son axe d'un trou dans lequel passe

Digitized by Google

le plomb A fixé à DD, par des vis EE et cimenté au plâtre dans C, avec sa partie médiane exposée à l'air par l'ouverture B.

G. R.

Sur l'accouplement direct et l'entraînement par courroies.

The Street Railway Journal a entrepris un *referendum* au sujet de l'accouplement direct ou de l'entraînement par courroies dans les petites stations centrales pour tramways.

A côté de l'économie capitale d'emplacement qui dépend surtout des circonstances locales, la discussion est très vive au sujet du coût de premier établissement des engins, de l'entretien et des réparations.

La question ayant été posée aux constructeurs, aux chefs de station et aux fabricants de courroies, il n'est pas étonnant que les réponses brillent par leur diversité.

Tout d'abord les fabricants de courroies insistent sur la souplesse de l'installation résultant de l'emploi de courroies. On sait que les courroies colossales n'effraient pas les constructeurs d'Amérique et, comme argument, *the Page Belting Company* cite l'exploitation de l'Intramural Railway à l'Exposition de Chicago : une courroie double de 45 pouces de large et 125 pieds de long prévue pour transmettre 7 à 800 chevaux fournis par un moteur Green a supporté, pendant un arrêt des autres machines, jusque 1 200 chevaux, sans de trop notoires glissements, le moteur ayant faibli de 110 à 75 tours par minute tout en continuant le service.

Les partisans de l'accouplement direct, en reconnaissant, en général, la souplesse des installations avec courroies considèrent qu'à partir de 100 à 200 kilowatts l'accouplement direct est seul rationnel et permet de réaliser, outre un capital de premier établissement moins élevé, une économie variant de 5 à 20 p. 100 dans les pertes par frottement.

Il nous semble que le montage des grandes courroies exige des précautions minutieuses si l'on ne veut pas risquer de voir l'avantage de souplesse d'installation transformée en véritable cause de danger par suite de glissements intempestifs.

Enfin, un certain nombre d'ingénieurs américains pense que la vapeur des cylindres forme un coussin suffisamment élastique pour l'accouplement direct et, qu'en tous cas, les organes des machines à vapeur de ce type peuvent être renforcés en prévision de brusques surcharges.

La solution consistant à monter l'induit sur le bout de l'arbre-manivelle rencontre peu de partisans et encore ceux-ci préfèrent-ils ajouter un palier supplémentaire. Cette méthode complique le montage, selon nous, et immobilise complètement les deux organes en cas d'avarie à l'un d'eux.

La plus heureuse combinaison est certainement celle de l'accouplement direct élastique qui n'oblige pas à un alignement parfait des axes et répond à toutes les objections relatives aux surcharges. Il est possible aussi de prévoir l'installation pour un remplacement possible des machines dans le cas où le service ne devrait pas souffrir d'interruption.

E. J. B.

Tarif variable pour la distribution de l'énergie électrique.

On doit à M. Arthur Wright l'application d'un mode de taxation de l'énergie électrique vendue par une station centrale qui prend pour base logique la relation aujourd'hui nettement appréciée du facteur de charge avec le coût de production et de distribution de l'énergie. Dans l'*Electrician*, de Londres, M. Wright vient de montrer comment varie le prix de revient avec le nombre d'heures journalier pendant lesquelles les consommateurs utilisent la puissance maxima. Il donne en même temps un aperçu très instructif des résultats obtenus à Brighton par l'application depuis deux ans d'un tarif variable basé sur cette relation.

Le but principal de l'adoption de ce système à Brighton, était d'encourager la consomma-

Digitized by Google

tion de jour et d'améliorer le facteur de charge, et ce but a été atteint, comme le montre le tableau ci-dessous.

	FACTEUR DE CHARGE MENSUEL	
	1892 Tarif uniforme	1894 Tarif variable
Janvier	15,8 0/0	18,7 0/0
Février	14	16
Mars	11	12,3
Avril	8,6	11,3
Mai	7,6	10,2
Juin	7,8	9,4
Juillet	8,5	10,3
Août	9,2	11,1
Septembre	11,4	13,6
Octobre	14,8	19,3
Novembre	17,2	22
Décembre	20	22

Par facteur de charge mensuel on entend le rapport de l'énergie réellement consommée d'après le compteur à celle qui aurait été débitée si la puissance maxima empruntée à la canalisation s'était maintenue durant vingt-quatre heures par jour pendant tout le mois.

Dans une installation qui se développe rapidement, il est naturellement difficile de déterminer le facteur de charge annuel, mais les chiffres ci-dessous, montrent combien le consommateur utilise mieux le capital représenté par l'installation, qu'avant l'adoption du tarif gradué. Ce que nous appelons facteur d'utilisation s'obtient en divisant le nombre de kilowatts-heures vendus dans l'année, par le plus grand nombre de kilowatts que le débit a atteint dans l'année.

	TARIF uniforme 1892	TARIF gradué 1894	Augmentation
Facteur d'utilisation	711 heures	888 heures	25 % env.
Recettes par kilowatt de puissance maxima débitée	516 francs	566 francs	10 % env.

Les 10 p. 100 d'augmentation de recettes par unité de puissance maxima débitée se sont produits, malgré une diminution de plus de 12 p. 100 sur le prix moyen demandé au consommateur.

L'importance du fait que la vente de l'énergie électrique a presque quadruplé depuis l'adoption du système, tandis que la charge maxima observée à la station centrale n'a fait que tripler, sera appréciée par le praticien s'il se rappelle que dans les stations centrales de Brighton, la partie des dépenses annuelles indépendante de la quantité d'énergie vendue représente généralement 80 p. 100 des dépenses totales.

Un autre but encore a été atteint avec le tarif gradué ; c'est l'introduction de l'éclairage électrique dans les sous-sols, les cuisines et dans d'autres endroits où, avec le tarif uniforme, on ne l'emploie qu'en dernier lieu. C'est ce que montre encore le fait que le nombre moyen de kilowatts-heure consommés par lampe installée s'est élevé de 19,5 à 22,45, soit de 15 p. 100. C'est l'inverse de ce qui se produit autre part.

A Brighton, on fait payer 70 centimes le kilowatt-heure lorsque le consommateur emploie pendant une heure au moins par jour la puissance maxima qu'il utilise ; le surplus d'énergie consommée est compté à raison de 30 centimes l'unité. La puissance maxima de la journée est enregistrée par un appareil spécial. Voici dans ces conditions, l'échelle des prix de revient prévus pour 1895 et des prix demandés aux consommateurs.

FACTEUR de charge du consommateur	NOMBRE d'heures d'utilisation de la puissance maxima	PRIX de revient du kilowatt-heure	TARIF de vente du kilowatt-heure
		centimes	centimes
5	1,2	60	63,2
10	2,4	35	46,6
15	3,6	26,6	41,2
20	4,8	22,5	38,3
30	7,2	18,3	35,6
50	12	15	33,3
100	24	12,5	31,6

Pour obtenir le coût variable de l'alimentation des consommateurs utilisant leurs installations différemment, il est nécessaire de déterminer les dépenses annuelles fixes de la station centrale, ainsi que le coût net de la

Digitized by Google

production de l'énergie électrique. Ensuite il faut savoir quelle puissance maxima la station peut fournir avec une marge suffisante pour la réserve. Les dépenses fixes par kilowatt et par jour divisées par le nombre total de kilowatts demandé, donneront le prix fixe, à demander par kilowatt et par jour. En y ajoutant les dépenses courantes pour la production de l'énergie on aura une base exacte d'appréciation du prix de revient de l'énergie électrique.

Pour l'année 1895, on estime qu'à Brighton les dépenses fixes seront de 60 centimes par kilowatt et par jour et les dépenses courantes de production de 10 centimes. Les consommateurs utilisant la puissance maxima pendant une heure par jour payent donc juste le prix de revient ; mais tout kilowatt-heure consommé en plus leur est compté 30 centimes, tandis qu'il ne coûte à l'usine que 10 centimes. Il faut en effet, compenser la perte qu'occasionnent les abonnés qui emploient leur puissance maxima pendant moins d'une heure par jour.

Tout variable qu'il soit, ce tarif ne comporte donc que deux sortes de prix, l'un fixe, l'autre courant, ce qui ne saurait rendre la comptabilité beaucoup plus compliquée qu'avec un tarif uniforme. En tout cas, on peut attribuer à l'application de ce tarif le fait que Brighton détient en ce moment le record en ce qui concerne le coût de la production ainsi que la quantité consommée par habitant.

Les données suivantes, fournies par les indicateurs de débit maximum installés chez les abonnés peuvent être utiles aux directeurs de stations centrales ; comme elles ont été déterminées d'après les résultats obtenus pour près de 1 000 abonnés, on peut les considérer comme des moyennes :

Proportion des abonnés qui emploient leur puissance maxima en moyenne pendant	MOINS d'une heure par jour	UNE à deux heures par jour	DEUX à trois heures par jour	PLUS de trois heures par jour
	13,6 %	38,6 %	32,1 %	15,8 %

On voit que près de 50 p. 100 des consommateurs payent environ 50 centimes le kilowatt-heure, c'est-à-dire qu'à Brighton l'électricité leur coûte moins cher que le gaz, en comptant que 4 mc. de ce dernier équivalent à un kilowatt-heure.

A. H.

Notes sur la téléphonie aux États-Unis, par G. de la Touanne (1)

EXAMENS STATISTIQUES

Une exploitation téléphonique convenable et une étude tant soit peu sérieuse des conditions d'établissement ou de remaniement d'un bureau, exigent un examen attentif de l'allure du service selon les jours et les heures, du nombre d'appels, du nombre de conversations échangées, enfin des divers éléments qui interviennent dans une mise en communication, depuis l'appel initial jusqu'à la rupture de circuits qui termine l'opération. On arrive à comprendre l'importance de cette observation minutieuse et précise et les esprits finissent, au grand avantage pécuniaire des entreprises et au grand profit du service, par saisir la nécessité de posséder des relevés exacts permettant d'apprécier la fréquence, la rapidité et la perfection d'exécution des opérations. Les évaluations qu'on pourrait appeler de sentiment, sont sujettes à des erreurs incroyables et un relevé effectif donne seul des indications valables. Nous pourrions citer un grand réseau, fort bien dirigé depuis longtemps et où cependant l'établissement, à une date assez récente, de statistiques semblables, a permis, par un simple changement dans la répartition du personnel et une petite réduction, d'en augmenter le rendement de 23 p. 100.

Le nombre de communications aux différentes heures de la journée est obtenu de la manière suivante : A la portée de chaque téléphoniste est placé un petit panneau de 100 jacks ou 100 bagues de jacks ; une cheville en bois pouvant entrer dans ces bagues est également à sa disposition : à la première communication

(1) Voir l'*Eclairage Electrique* du 20 avril, p. 125.

Digitized by Google

donnée, on enfonce la fiche dans la première bague, à la seconde on porte la fiche dans la seconde bague et ainsi de suite. Le personnel de surveillance relève à la fin de chaque heure le nombre de communications données par chaque opérateur et la cheville est enlevée pour être insérée à nouveau dans la bague n° 1 à la première nouvelle communication qui sera établie. La fraude est d'ailleurs rendue impossible par ce fait que lors des comptages, des agents spéciaux viennent en vérifier l'exactitude à des moments quelconques, en s'établissant avec un téléphone sur le circuit de n'importe quel poste d'opérateur : les erreurs relevées au cours de ce contrôle sont en nombre infime. Si les données numériques recueillies lors des comptages sont ensuite traduites graphiquement, les courbes obtenues mettent certains caractères du service absolument en évidence. C'est ainsi que les courbes représentatives du nombre horaire de communications se présentent presque partout avec la forme en M que nous avons eu déjà l'occasion de reproduire (1) à propos de lignes à grande distance. C'est ainsi également que certaines courbes (voir fig. 32) montrent d'une manière frappante que, dans tel ou tel bureau, la presque totalité des appels est à destination d'autres bureaux. C'est grâce à ces relevés encore que l'on peut connaître

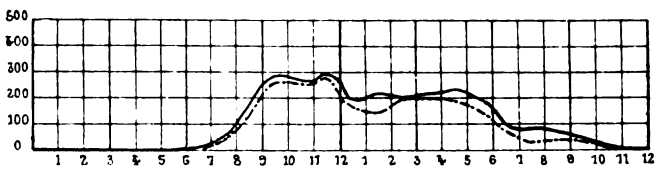


Fig. 32. ——— Courbe représentative des appels provenant des abonnés du bureau.
——— Courbe représentative des appels provenant des abonnés du bureau et à destination d'abonnés reliés à d'autres bureaux.

si, dans le trafic entre deux bureaux, A et B, la majorité des communications transférées l'est de A vers B ou de B vers A, s'il y a équilibre ou si la proportion change suivant le moment de la journée.

On voit, d'autre part, par exemple, que les téléphonistes d'arrivée peuvent donner 1598 communications par jour, et en 10 heures de travail à peu près : c'est la moyenne résultant des observations faites sur les 49 postes d'arrivée d'un même réseau ; quant au nombre moyen de communications par ligne sur les 1093 lignes correspondantes, il est de 71, avec des moyennes par bureau variant de 46 à 82 : on voit que le nombre moyen des lignes desservies par poste d'arrivée est de 22,3, le nombre brut allant de 32 à 17,7 pour les deux derniers bureaux visés qui fournissent l'écart maximum Il est nécessaire, pour éviter toute ambiguïté, de spécifier que les lignes auxiliaires, dans le réseau en question, ne sont pas munies des signaux à vue dont nous avons parlé.

Nous devons enfin signaler un relevé des plus intéressants fait au bureau de Cortlandt Street à New-York et fournissant la décomposition, au point de vue du temps, d'une communication entre abonnés reliés à un même multiple, depuis l'appel du demandeur jusqu'à la remise en place des fiches. La figure ci-contre (fig. 33, trait plein) montre clairement les résultats ; les temps évalués en secondes sont portés sur l'axe horizontal ; le trait plein représentatif de la communication est brisé à chaque opération nouvelle. Le temps zéro représente le moment où tombe le volet de l'annonciateur de l'appelant. Il faut un peu plus de 2 secondes à l'opérateur pour enfoncer la première fiche dans le jack individuel : 8 autres sont employées à recevoir

(1) *Annales télégraphiques*, t. XIV, 1887, p. 516.

Digitized by Google

l'ordre de l'appelant et à essayer la ligne de l'appelé : celui-ci met environ 23 secondes à répondre, et l'opérateur dépense encore 5 secondes à vérifier que la conversation commence et à retirer du circuit la clef d'écoute. A dater de ce moment la conversation dure approximativement 95 secondes en moyenne, et 10 secondes sont nécessaires pour recevoir le signal de fin de conversation, s'assurer que la conversation est terminée, enlever les fiches et remettre tout en ordre. Nous n'entrerons pas dans la discussion de ce graphique ; mais nous ferons pourtant observer que, sur les 33 secondes d'attente que doit accepter l'appelant, 23 sont imputables à son correspondant et non au service.

La ligne ponctuée de la figure 33 donne de même l'histoire d'une communication entre abonnés appartenant à des bureaux différents tous deux équipés avec des multiples. L'opérateur met naturellement 2 secondes comme ci-dessus à enfoncer la première fiche dans le

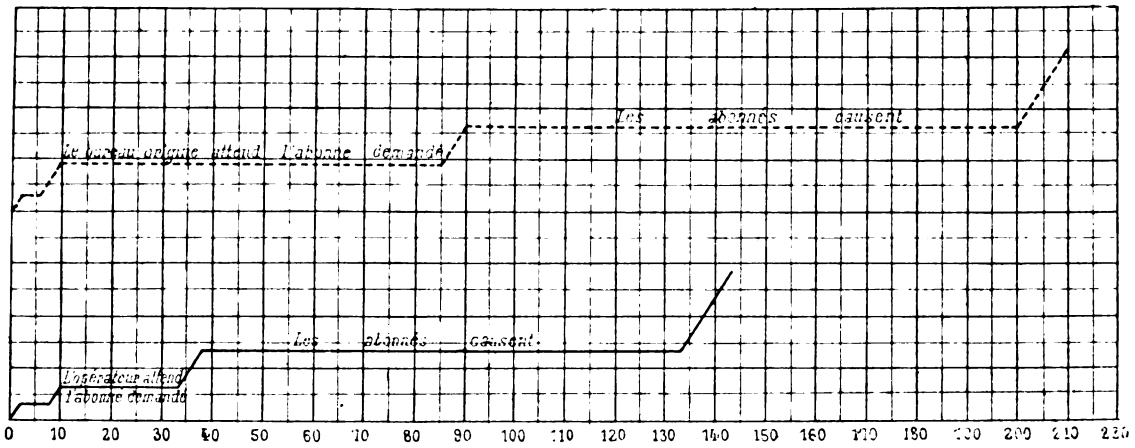


Fig. 33. —— Courbe représentative d'une communication établie entre abonnés reliés au même bureau.
—— Courbe représentative d'une communication établie entre abonnés reliés à deux bureaux différents.

jack individuel : il commence peut-être un peu plus tôt à essayer les lignes de départ qu'il ne le faisait pour les lignes d'abonnés parce que les lignes de départ sont immédiatement sous sa main, mais l'essai dure plus longtemps en moyenne, parce qu'il trouve souvent plusieurs lignes de départ occupées et qu'il est obligé dès lors, d'en essayer un certain nombre : l'appelant n'obtient plus ici son correspondant qu'au bout de 85 secondes au lieu de 33, comme dans le cas précédent, soit 50 secondes de plus. Il semble donc y avoir de ce côté quelque chose à gagner, soit par une modification des règlements d'exploitation, soit par l'addition aux lignes auxiliaires de certains organes en rendant la manœuvre plus franche. On voit aussi que, pour une raison ou pour une autre, les conversations échangées par les lignes auxiliaires sont plus longues que celles entre abonnés d'un même bureau.

Il serait intéressant de savoir si le fait est général ou s'il ne se présente que dans les bureaux principaux des réseaux, où les abonnés peuvent fort bien avoir plus d'activité que ceux de certains bureaux secondaires qui servent de correspondants aux premiers.

(A suivre.)

Circonférences relatives de diverses formes de sections droites d'égale surface pour inducteurs de dynamos, par Wiener.

Nous reproduisons ci-après un intéressant tableau fourni par M. Wiener dans sa longue série de *Notes pratiques sur le calcul des dynamos* que publie l'*Electrical World.*

Digitized by Google

Il complète très heureusement les indications déjà données, à cet égard, par le professeur Silvanus P. Thompson dans son *Traité des machines dynamo-électriques* (2e édition française, p. 417).

forme de la section droite	description	rapport du périmètre à la surface	périmètres rapportés à celui du cercle
	cercle	3.545	1
	carré	4.000	1.13
	Rectangle, 1 2	4 243	1.20
	" 1.3	4.62	1.305
	" 1:4	5 00	1.41
	" 1:8	6.364	1.80
	Ellipse 1:2	3.87	1.09
	" 1.3	4.35	1 23
	" 1:4	4.84	1.37
	" 1:8	6.53	1.84
	Ovale 1 carré 2 demi-cercles	3.85	1.085
	" 2 " 2 "	4.28	1.21
	" 4 " 2 "	5.09	1.44
	2 Cercles	5.01	1.41
	3 "	6.14	1.73
	4 "	7.09	2.00
	8 "	10.03	2.83
	anneau 1:1	3.85	1.085
	" 1:2	4.09	1.155
	" 1:3	4.43	1 25
	" 1:4	4.76	1.34
	" 1:8	5.91	1.67

On y trouve les circonférences par unité de surface des diverses formes de sections droites d'inducteurs employés dans les machines modernes, avec une comparaison entre ces circonférences et celle de la forme la plus économique, le cercle. Dans le cas de noyaux rectangulaires et elliptiques, on considère pour chacun d'eux quatre formes variant entre elles par la longueur qui est respectivement de 2, 3, 4 et 8 fois la largeur des sections. Pour les noyaux ovales, il y est relevé trois sections, dont les portions terminales semi-circulaires sont reliées à une portion médiane formée de 1, 2 et 4 carrés adjacents, respectivement. Viennent ensuite quatre sections composées de plusieurs noyaux circulaires placés parallèlement, savoir 2, 3, 4 et 8 cercles séparés. Enfin, en ce qui concerne les noyaux creux, cinq cas sont examinés, dans lesquels le diamètre intérieur est, respectivement, de 1, 2, 3, 4 et 8 fois l'épaisseur radiale de la section droite.

Effort exercé sur les conducteurs noyés dans le fer d'un induit, par W. B. Sayers.

M. Swinburne a émis le premier, il y a quelques années, l'opinion que, dans les induits à conducteurs noyés dans le fer, l'entraînement était le résultat de l'effort exercé sur le fer, et non sur les conducteurs eux-mêmes comme dans les machines à noyau d'induit lisse. Cette note a pour objet de démontrer que, si le fait n'est pas absolument exact, il l'est en réalité au point de vue pratique.

Dans le cas d'un noyau lisse, l'intensité du champ magnétique dans lequel se meut le fil induit est égale au quotient du flux total Φ par la surface interpolaire, abstraction faite, pour plus de simplicité, de la torsion du champ sur lui-même.

Dans un induit denté, au contraire, le flux de force est en majeure partie concentré dans les dents, et le champ est relativement faible dans les rainures ou perforations qui reçoivent les conducteurs. Ce flux se répartit en réalité entre les saillies en fer et l'espace occupé par les conducteurs en raison directe du rapport des perméabilités des matériaux ; et, la perméabilité du cuivre et celle de la matière isolante étant sensiblement identiques à celle de l'air, le rapport de l'induction $\mathfrak{B}$ dans le fer à $\mathcal{H}$ dans la rainure sera $\frac{\mu}{1}$, μ représentant la

Digitized by Google

perméabilité du fer pour la valeur de l'induction $\mathfrak{B}$ dans les dents.

Considérons dès lors le cas d'un induit dans lequel l'épaisseur de chaque dent ou saillie est égale à l'intervalle qui les sépare, les faces des saillies et des intervalles étant supposées parallèles. Pour une induction $\mathfrak{B} = 16\,000$ unités C. G. S. dans les saillies, μ sera par exemple égal à 320, et on aura $\frac{B}{\mu} = \frac{16\,000}{330} = 50$. Les conducteurs seront en conséquence immergés dans un champ $\mathcal{H} = 50$ unités C. G. S. Si l'induit était lisse, on aurait, pour les mêmes dimensions du noyau et la même valeur de Φ, un champ d'immersion moyen de $\frac{16\,000 + 50}{2} = 8\,025$ unités, Or, le couple auquel est soumis un conducteur dans ces conditions est égal au produit de l'intensité du courant qui y circule par l'intensité du champ (plus exactement par celle du flux), de sorte que le couple exercé sur le conducteur noyé dans le fer sera, à égalité de courant, les $\frac{50}{8\,025}$, soit environ $\frac{1}{160}$, de celui qui solliciterait un conducteur de même longueur se mouvant avec la même vitesse et donnant naissance à la même f. é. m. sur un noyau lisse. Mais on sait que, dans chaque cas, la même variation de flux par rapport au temps donnera la même f. é. m., que les conducteurs soient ou non noyés dans le fer; par suite, dans le cas du conducteur noyé, la variation du flux correspondant à la largeur de la rainure s'effectuera dans un temps égal à $\frac{160 - 1}{1}$ fois la vitesse tangentielle de l'induit, ou plus généralement à $\frac{x - 1}{1}$ fois cette vitesse, $\frac{x}{1}$ étant le rapport de l'intensité du champ dans lequel seraient plongés les conducteurs si ce champ était également réparti comme dans le cas d'un noyau lisse, à celle correspondant à l'induit denté.

Étant donné qu'on a vitesse $= \frac{\text{puissance}}{\text{force}}$ ou $V = \frac{P}{F}$, la vitesse du conducteur noyé, rapportée au champ dans lequel il est plongé, est $\frac{x}{1}$ fois la vitesse périphérique de l'induit, ou 160 fois cette vitesse dans l'exemple choisi. On voit par là que la variation du flux à travers la rainure doit s'effectuer en sens contraire du sens de rotation de l'induit avec une vitesse égale à $\frac{160 - 1}{1}$ ou 159 fois la vitesse tangentielle de l'induit.

Le couple qui sollicite chaque conducteur actif pour un noyau lisse est égal au couple mécanique total divisé par le nombre des conducteurs actifs, ou

$$w = \frac{W}{N},$$

N étant le nombre de ces conducteurs.

Dans le cas de l'induit à conducteurs noyés dans le fer, le couple qui s'exerce sur chaque conducteur (à raison d'un seul par rainure) est

$$w' = \frac{W}{N} \times \frac{1}{x};$$

celui supporté par chaque saillie de fer devra donc être

$$w'' = \frac{W}{N} \times \frac{x - 1}{x},$$

ou dans l'exemple choisi, les $\frac{159}{160}$ du couple total exercé sur l'induit.

Ce qu'il y a de curieux, c'est que cette disposition constitue une sorte de renvoi qui donne à la vitesse relative des conducteurs et du champ dans lequel ils sont plongés une énorme supériorité sur la vitesse périphérique réelle de l'induit, et que l'effort supporté par le fer doit être dû à la réaction de la rapide variation du flux en sens inverse de la vitesse des conducteurs.

Comme autre exemple, si l'on prend $\mathfrak{B} = 20\,000$ unités C. G. S., on trouve $\mathcal{H} = 666$ unités C. G. S. pour les conducteurs, et l'effort exercé sur eux est d'environ $\frac{1}{16}$, soit dix fois ce qu'il était dans le cas précédent; la différence

Digitized by Google

est due à la perméabilité considérablement réduite du fer pour cette haute valeur de l'induction. De même, si l'on prenait pour $\mathfrak{B}$ une valeur inférieure à 16 000 unités C. G. S., on trouverait pour l'effort exercé sur les conducteurs une fraction plus faible de l'effort total, leur vitesse, par rapport au champ dans lequel ils sont plongés, étant relativement plus grande.

E. B.

Tramways électriques et canalisations souterraines, par M. Rasch (1).

Dans ces derniers temps, la presse technique s'est fréquemment occupée des actions électrolytiques des courants de tramways électriques sur les tuyaux métalliques souterrains. En Angleterre, ces questions ont été examinées officiellement, et le résultat de l'enquête a été la publication d'un règlement sur le mode d'installation et d'exploitation des tramways électriques.

L'article 7 de ce règlement exige que la chute de potentiel entre les deux points extrêmes du circuit de retour ne puisse dépasser 7 volts. Comme l'intensité du courant dérivé dans le sol est proportionnelle à cette chute de potentiel, cette prescription est justifiée. Mais l'intensité de ce courant est aussi inversement proportionnelle à la résistance du parcours dans la terre. Il est donc nécessaire de ne pas diminuer cette résistance dans une proportion plus grande que la chute de potentiel, car le remède serait alors pire que le mal.

Si l'on désigne par r la résistance des rails et par s celle du chemin que suit le courant dans le sol parallèlement à la voie, et si le courant allant du point le plus éloigné de la voie à la station centrale a une intensité I, la chute de potentiel p entre ce point et le pôle de la voie est

$$p = \frac{sr}{s + r} \mathrm{I}.$$

En reliant la voie à des plaques de terre, nous diminuons la résistance au passage entre la terre et le pôle de la voie à la station. Il y a deux cas à considérer : 1° la résistance au passage est grande par rapport à la résistance totale du parcours dans le sol, ou 2° cette résistance ne forme qu'une petite partie de la résistance totale.

Dans le premier cas l'emploi de plaques de terre ferait baisser notablement la résistance totale s du sol. La chute de potentiel p diminuerait donc également, mais en même temps la dérivation i que le sol forme par rapport aux rails croîtrait. Cette intensité du courant dans la terre est donnée par :

$$i = \frac{p}{s} = \frac{r}{s + r} \mathrm{I},$$

elle augmente donc lorsque s diminue. On a donc bien diminué la chute de potentiel, mais le moyen employé ayant aussi diminué la résistance du parcours dans le sol, nous avons atteint un but opposé à celui que nous nous étions proposé.

M. Elihu Thomson a été conduit par des considérations analogues à proposer un moyen différent pour diminuer la chute de potentiel le long du circuit de retour. Ce moyen consisterait à employer de petits dynamos dont la force électromotrice serait opposée à la différence de potentiel entre la voie et la terre.

Dans le cas, où la résistance au passage est relativement faible, l'influence des plaques de terre est naturellement très peu importante, et on ne peut en tirer aucun avantage.

Mais dans les deux cas, les plaques de terre auront pour effet d'étaler le courant dans le voisinage de la station, c'est-à-dire de diminuer la densité de courant. La quantité de métal attaquée dans un temps donné étant proportionnelle au nombre d'ampères-heures, les dégâts occasionnés par l'électrolyse restent absolument les mêmes et sont seulement répartis sur un plus grand nombre de points. Or, il serait certainement plus avantageux de localiser, au contraire, les défauts produits par corrosion, dans les tuyaux.

Cette dernière considération paraît avoir

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 4 avril 1895.

Digitized by Google

guidé le Board of Trade dans l'adoption du cinquième article de son règlement, qui recommande de relier au circuit de retour le pôle négatif de la génératrice. Le courant passe alors des rails à la terre aux points éloignés de la station, tandis que la région où il retourne des canalisations et de la terre aux rails est rapprochée de la station centrale. Le dommage total exprimé en kilogrammes de métal détruit est évidemment le même, mais les parties atteintes sont concentrées dans un plus petit rayon.

Cet avantage disparaît en partie quand on met le pôle de la voie en communication avec des plaques de terre. En ce qui concerne l'influence des lignes de tramways sur les lignes télégraphiques voisines, il faut remarquer que les plaques de terre tendent à disperser le courant et à augmenter la différence de potentiel entre les contacts de terre des lignes télégraphiques.

D'après l'article 6 du règlement anglais, le courant qui passe de la terre à la génératrice ne doit pas dépasser 5 p. 100 du courant total. Que doit-on faire quand il atteint 6 p. 100? Introduire de la résistance dans le parcours du courant de terre serait contraire à l'article 5. Il n'existe donc guère d'autre moyen, que d'établir une ligne de retour en dérivation sur les rails. Proposons-nous de chercher les dimensions à donner à cette ligne de retour pour réduire le courant terrestre i, de 6 p. 100 à 5 p. 100 du courant total.

Soit encore r la résistance du rail, s la résistance du parcours dans le sol, et l la résistance cherchée de la ligne de retour; i_1 l'intensité du courant qui passe dans la ligne de retour. Il s'agit maintenant de déterminer le rapport $\frac{i}{I}$ du courant total.

Les équations

$$r\left(I - i - i_1\right) = si = li_1$$

donnent

$$\frac{i}{I} = \frac{r}{r + s + \frac{rs}{l}}.$$

Cette valeur doit être réduite à 0,05, étant donné que pour $l = \infty$, c'est-à-dire sans ligne de retour, il est de 0,06. On a donc simultanément :

$$\frac{r}{r + s + \frac{rs}{l}} = 0{,}05 \quad \text{et} \quad \frac{r}{r + s} = 0{,}06.$$

Il s'ensuit qu'entre r et l il doit exister la relation

$$\frac{r}{l} = 0{,}212.$$

En prenant une section de rails de 4 000 mm² et en supposant que les points entre les rails soient assez bons conducteurs pour ne pas opposer plus de résistance que le rail lui-même, la voie de longueur L présentera une résistance de

$$r = \frac{L}{9{,}5 \times 2 \times 4\,000} = \frac{L}{76\,000} \text{ ohms.}$$

La ligne de retour, de même longueur, sera en cuivre, de section Q mm², aura pour résistance

$$l = \frac{L}{58\,Q} \text{ ohms;}$$

d'où l'on tire

$$\frac{r}{l} = 0{,}212 = \frac{58\,Q}{76\,000} \text{ et } Q = 278 \text{ mm}^2.$$

Pour obtenir, par conséquent, ce résultat minime de réduire d'un sixième la partie du courant passant dans la terre, on serait obligé d'employer 3 1/2 fois plus de cuivre pour la ligne de retour que pour toute la ligne principale.

Le calcul est d'ailleurs entièrement basé sur l'hypothèse d'une parfaite conductibilité aux joints des rails; si cette condition n'était pas remplie, il faudrait encore augmenter la section de la ligne de retour.

Comme conclusion on peut dire qu'il est beaucoup plus important d'établir une bonne communication électrique aux jonctions des rails, que d'employer une ligne de retour.

L'*Elektrotechnische Zeitschrift* a insisté récemment sur l'application du système à trois fils aux tramways électriques. La tension est doublée et l'intensité de courant réduite de moitié; le conducteur neutre, c'est-à-dire les rails, ne reçoit que la différence des charges

Digitized by Google

des deux ponts. De plus le courant dans ce conducteur change de temps en temps de sens. Ce sont là des avantages par rapport au système actuel.

Sans doute, l'établissement d'un système à trois fils est plus simple à effectuer sur les lignes à deux voies que sur celles à voie unique. Toutefois, dans ce dernier cas, ce système a déjà été appliquée, notamment à Portland (États-Unis). La ligne de prise de courant a été divisée en deux parties isolées l'une de l'autre, et reliées respectivement au pôle positif et au pôle négatif des génératrices, tandis que les rails forment le conducteur neutre. En passant d'une moitié à l'autre de la ligne, la voiture reçoit tantôt le courant dans un sens tantôt dans l'autre, ce qui pour les moteurs série ne présente pas d'inconvénient. On recommande toutefois de couper le circuit des moteurs au passage de la ligne positive à la ligne négative.

L'auteur se range finalement à l'avis exprimé par un confrère américain partisan du laisser-faire. Il suffirait, dit-il, de faire payer aux compagnies de tramways les réparations des dégâts causés par le courant pour encourager l'application des divers moyens capables de les réduire au minimum.

A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Résistance électrique au contact de deux métaux par Édouard Branly [1].

« Deux lames métalliques planes, de même métal ou de métaux différents, bien appliquées l'une sur l'autre, n'ont pas paru jusqu'ici susceptibles d'offrir une résistance appréciable à un courant électrique qui les traverse normalement; les recherches qui suivent ont pour objet de faire voir que, dans certains cas, la surface de contact de deux métaux différents oppose une résistance et que cette résistance peut être importante.

« Pour faciliter l'exposé du phénomène, je décrirai trois expériences. Dans chacune d'elles plusieurs plaques métalliques minces, carrées de 48 mm. de côté sont superposées comme dans une pile à colonnes et constituent un bloc que l'on dispose dans l'une des branches d'un pont de Wheatstone. Les deux plaques extrêmes sont des plaques de laiton auxquelles aboutissent des fils de communication, les autres plaques appartiennent à des métaux différents. Les surfaces métalliques ont été dressées puis soigneusement nettoyées avec du papier d'émeri. Sur le laiton supérieur repose une masse cylindrique de 6 kg. exerçant une pression suffisante pour assurer de bons contacts.

« *Première expérience.* — Les laitons extrêmes comprennent trois lames : une lame de zinc entre deux lames de cuivre rouge.

« La résistance du bloc des cinq lames est extrêmement faible ; on lui adjoint un ohm afin de pouvoir effectuer une mesure précise, les trois autres branches du pont renfermant elles-mêmes chacune un ohm. Si on laisse les lames en contact pendant plusieurs heures ou même plusieurs jours, la position de l'aiguille du galvanomètre reste la même que lorsque l'équilibre du début a été établi et ne se déplace que de quelques divisions, alors qu'une variation d'un centième d'ohm correspondrait à un déplacement du trait lumineux d'environ 2 000 divisions. La température de la salle était d'ailleurs sensiblement fixe.

« *Deuxième expérience.* — Les deux plaques de cuivre rouge sont remplacées par du bismuth et le zinc par de l'aluminium.

« Contrairement aux apparences, la résistance de ce bloc de petite longueur et de très forte section n'est pas négligeable et il n'est pas nécessaire de lui adjoindre une bobine

[1] *Comptes rendus*, t. CXX, p. 869; 22 avril 1895.

Digitized by Google

auxiliaire comme dans la première expérience afin de rendre la méthode du pont sensible. On détermine le plus rapidement possible sur la boîte à fiches mobiles de l'une des branches une valeur supérieure et une valeur inférieure de la résistance, distantes d'un centième d'ohm. Mais on n'obtient ainsi qu'un nombre provisoire, le déplacement du trait lumineux indique en effet qu'il se produit un accroissement continu et considérable de la résistance. Cet accroissement se ralentit ensuite de plus en plus.

« Voici un exemple des résistances observées immédiatement après la formation du bloc et à plusieurs intervalles de temps consécutifs :

	h m	Résistance. ohm
A	9.20	0,4
	9.45	0,74
	10.00	0,83
	10.55	1,7
	2.00	3,005

« Cette résistance n'est pas assimilable à une polarisation, car le système des plaques ne donne lieu à aucune déviation quand il est mis seul en communication directe avec un galvanomètre.

« *Troisième expérience.* — Au lieu d'intercaler l'aluminium entre les deux bismuths, on superpose les deux bismuths et l'on place au-dessus l'aluminium en le séparant des bismuths par une lame de laiton.

« On doit opérer comme pour la première expérience avec une résistance auxiliaire, car la résistance de l'ensemble est dans ce cas extrêmement faible (1).

« *Résultats.* — Ces expériences démontrent que pour certains métaux, tels que le cuivre et le zinc, la surface de contact de deux métaux différents n'est le siège d'aucune résistance appréciable. Pour d'autres couples, tels que plomb et aluminium, plomb et fer, étain et aluminium, étain et fer, bismuth et fer, bismuth et aluminium, etc., il y a une résistance électrique de contact. Sa valeur initiale observée dépend de la nature des métaux et aussi de la rapidité avec laquelle on établit l'équilibre au pont de Wheatstone. L'équilibre qu'on obtient à un instant donné ne persiste pas, car la résistance croît, d'abord rapidement, puis plus lentement.

« Pour un couple déterminé et une pression constante, la résistance s'est montrée souvent beaucoup plus forte que dans l'exemple numérique cité plus haut : souvent aussi elle a été notablement plus petite ; elle paraît dépendre de certains états des surfaces de contact que je n'ai pas encore pu préciser.

« La masse cylindrique de 6 kg. ayant été remplacée par une autre masse de 26 kg., la résistance du début et les résistances consécutives ont été plus faibles ; il en a été de même lorsque le bloc a été fortement serré entre les mâchoires d'un étau; mais, dans tous les cas, la résistance s'est montrée bien supérieure à celle à laquelle on aurait pu s'attendre d'après les idées admises et un accroissement progressif s'est toujours manifesté.

« Très souvent le circuit de l'élément Daniell qui produisait le courant est resté fermé et les lames n'ont pas cessé d'être traversées par le courant ; plusieurs fois, cependant, le bloc venant d'être formé et l'équilibre au pont ayant été rapidement établi, le circuit a été ouvert; quand on l'a de nouveau fermé après plusieurs heures d'interruption, une augmen-

(1) Voici quelques variantes des dispositions expérimentales :

1° Une dizaine de lames d'aluminium ont été intercalées entre des lames de plomb, un aluminium entre deux plombs, et le tout a été chargé par une masse de 26 kg; une résistance notable est observée, elle croît graduellement.

Si l'ordre des lames est modifié, tous les plombs étant d'abord superposés, puis au-dessus tous les aluminiums, séparés des plombs par une lame de laiton, la résistance de l'ensemble a été alors trouvée extrêmement faible.

2° Une bande mince d'aluminium est fortement serrée, à chacune de ses extrémités, entre des lamelles de plomb ou d'étain, puis entre des lamelles d'aluminium ; avec le plomb ou l'étain il y a un important accroissement de résistance : il n'a plus lieu avec les lamelles d'aluminium.

Digitized by Google

tation s'est encore manifestée et elle était comparable à celle qu'on aurait eue si le circuit était resté fermé.

« Dans la plupart des essais, les lames avaient été nettoyées immédiatement avant l'expérience; le phénomène a persisté encore avec des lames nettoyées depuis quelques jours; il s'est encore manifesté avec des lames altérées par l'air et dont l'aspect métallique avait disparu :

« *Action du choc et des étincelles.* — La résistance dont il s'agit ici, résidant dans l'atmosphère de contact de deux métaux, peut être influencée par le choc ou par les étincelles.

« Pendant l'accroissement progressif qui suit la première détermination de l'équilibre on reconnaît, par la marche du trait lumineux du galvanomètre, que la résistance subit de brusques renforcements au moment où l'on suscite des ébranlements dans le voisinage.

« Les étincelles électriques sont susceptibles de faire décroître la résistance à distance, mais l'effet est souvent très faible; on détermine sûrement une diminution importante en touchant un point du bloc avec une bouteille de Leyde très faiblement chargée. Dans le cas de l'exemple numérique cité plus haut (bismuth et aluminium), la résistance est ainsi tombée de $3^{ohm}{,}005$ à $0^{ohm}{,}45$. Cette diminution, peut persister longtemps; on aide beaucoup par des chocs au retour de la résistance.

« Je poursuis l'étude de ce phénomène où de nombreux points restent à élucider. »

Sur une méthode optique d'étude des courants alternatifs par J. Pionchon (1)

« Soit, entre le polariseur et l'analyseur d'un saccharimètre à pénombre, un solénoïde muni, suivant son axe, d'un tube de verre plein de sulfure de carbone, ou mieux d'une solution saturée d'iodure de mercure dans l'iodure de potassium (liqueur de Thoulet). Si ce solénoïde est parcouru par un courant alternatif, la bissectrice de l'angle des vibrations des deux moitiés du faisceau lumineux doit évidemment, à l'émergence, passer successivement, et en accompagnant sans retard appréciable les fluctuations du courant, par toutes les positions comprises entre deux positions extrêmes qui correspondent, l'une au maximum d'intensité du courant dans un sens, l'autre au maximum d'intensité du courant en sens contraire. Mais si le courant, comme c'est le cas des courants industriels, comporte plusieurs dizaines de périodes par seconde, les divers aspects du champ lumineux correspondant aux différentes positions de la bissectrice mobile ne peuvent être distingués à simple vue, par suite de la persistance des impressions, et les deux parties du champ apparaissent, pendant comme avant le passage du courant, également éclairées.

« J'ai réussi à rendre distinctes les diverses phases d'éclairement par lesquelles passe en réalité le champ lumineux, en appliquant à son observation la méthode stroboscopique (1). En réglant convenablement la différence ε entre la période T' de visibilité et la période T du courant, on peut voir les diverses phases du phénomène se dérouler avec une lenteur aussi grande que l'on veut, la période du phénomène apparent étant à celle du phénomène réel dans le rapport de T' à ε.

« Ce mode d'observation constitue une nouvelle méthode d'étude des courants alternatifs.

« Et, d'abord, les changements manifestés par le champ lumineux renseignent à première vue, par la régularité ou l'irrégularité de leurs retours, sur la constance ou les variations de la durée de la période du cou-

(1) *Compte rendus*, t. CXX, p. 872; 22 avril 1895.

(1) Deux diaphragmes parallèles, munis chacun d'une fente étroite et portés par les branches d'un diapason entretenu électriquement, constituent, pour l'application de cette méthode, la disposition à la fois la plus simple et la plus précise.

Digitized by Google

rant, et, par leur ordre de succession, sur l'allure générale de la courbe d'intensité. On peut ainsi effectuer, en un point quelconque d'un réseau de distribution, un contrôle très délicat du régime d'un courant alternatif.

« Mais cette méthode d'observation n'est pas purement qualitative ; elle se prête aussi à des mesures qui permettent d'effectuer l'étude quantitative des courants mis en jeu.

« 1. *Détermination de la fréquence.* — La période T du courant et, par suite, la fréquence se déduisent immédiatement de la durée T′ des intermittences de visibilité et de la période Θ des apparences observées. On a en effet,

$$\Theta = \frac{T'}{T' - T} T.$$

« 2. *Mesure de l'intensité maxima.* — Appelons μ l'écart maximum que présente la bissectrice des vibrations émergentes par rapport à celle des vibrations incidentes. Tant que l'alidade de l'analyseur fait, avec sa position de zéro, un angle inférieur à μ, la bissectrice des vibrations émergentes, dans son oscillation devient deux fois par période perpendiculaire à la section principale de l'analyseur. L'uniformité d'éclairement du champ lumineux apparaît alors deux fois dans la série des aspects de ce champ constituant une période apparente. Elle n'apparaît plus qu'une fois, si l'analyseur fait, avec sa position de zéro, un angle égal à μ. Enfin, elle ne se réalise plus du tout, si l'écart de l'analyseur est supérieur à μ. Il est donc facile, d'après cela, de trouver expérimentalement l'angle μ. La grande sensibilité du saccharimètre à pénombre rend très nette la détermination de la position de l'analyseur, pour laquelle l'uniformité du champ n'apparaît plus qu'une fois par période (1).

(1) L'observation stroboscopique donnant lieu à une grande perte de lumière, il est indispensable d'opérer avec un faisceau incident très intense. J'emploie, à cet effet, la lumière d'un arc électrique traversant une cuve de verre, contenant une solution concentrée de bichromate de potasse, la face de la cuve par laquelle a lieu l'émergence étant constituée par un verre dépoli.

« La comparaison de la valeur maxima $I_{max.}$ d'un courant alternatif, ainsi obtenue, avec la valeur efficace $I_{eff.}$, donnée par un électrodynamomètre, peut servir à reconnaître si la variation de l'intensité est ou non sinusoïdale, puisque, dans le cas d'un courant sinusoïdal, on doit avoir

$$I_{eff.} = \frac{I_{max.}}{\sqrt{2}}.$$

« 3. *Détermination des intensités.* — Supposons l'alidade de l'analyseur écartée de sa position de zéro, d'un angle α inférieur à μ. Le pointage, sur un chronographe, des instants où apparaît l'uniformité du champ, fait connaître les instants où, dans le phénomène à longue période qui est l'objet direct de l'observation, l'intensité passe par la valeur I_α, qui donne, à la bissectrice des vibrations émergentes, l'écart α. En opérant ainsi avec diverses valeurs de α, on peut donc déterminer, pour autant de valeurs de l'intensité, les instants où elles se réalisent, ce qui permet de construire par points la courbe représentant la loi de variation de l'intensité du courant.

Toutes ces mesures, comme, du reste, celles qui pourraient être faites par d'autres méthodes stroboscopiques, ne sont possibles, d'après le principe même de la méthode stroboscopique, que si les courants à étudier présentent, au moins pendant quelques instants, une parfaite régularité d'allure. »

Note sur l'enroulement différentiel employé pour diminuer l'intensité de l'étincelle de rupture, par A. Griffiths (1).

Dans le but de diminuer la longueur de l'étincelle due à l'extracourant de rupture, on emploie souvent des bobines à enroulement différentiel obtenues en enroulant côte à côte deux fils de même longueur et de même diamètre dont les extrémités sont reliées de telle sorte que, quand un courant constant circule dans la bobine composée, les enroulements

(1) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 246-250; mars 1895.

Digitized by Google

soient traversés par des courants égaux et de sens contraire. La figure 1 représente schématiquement cet enroulement différentiel.

L'auteur examine ce qui doit se passer quand on rompt brusquement un seul des deux enroulements.

Quand les deux enroulements sont traversés par des courants de même intensité et circulant en sens inverses, leur ensemble ne produit aucune ligne de force à l'extérieur. Si l'on vient à rompre l'un des enroulements des lignes de force prennent naissance, de sorte que le nombre de ces lignes embrassées par l'ensemble varie brusquement de zéro à un nombre fini. La vitesse avec laquelle varie le nombre des lignes de force embrassées est donc excessivement grande et il doit en résul-

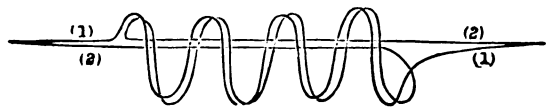


Fig. 1. — Schéma de l'enroulement différentiel considéré.

ter la production d'une f. é. m. induite très grande tendant à produire une très longue étincelle au point de rupture.

Or, en réalité il n'en est pas ainsi et, d'après l'auteur, il est probable que, par suite de l'égalité des self-inductions des enroulements et de leur induction mutuelle, la rupture de l'un d'eux produit dans l'autre un arrêt brusque du courant suivi d'une augmentation de l'intensité de ce courant. Cette augmentation de l'intensité engendre dans le circuit rompu une force électromotrice d'induction donnant une étincelle au point de rupture, de sorte que cette étincelle de rupture est, en définitive, analogue à l'étincelle de fermeture du circuit d'une bobine ordinaire.

L'auteur illustre cette explication par une analogie mécanique, indiquée par la figure 2.

Dans cette figure, A et B représentent des disques pouvant tourner autour d'un axe vertical XY; C est un disque pouvant tourner autour d'un axe horizontal, mobile lui-même autour de XY et portant à son extrémité une masse M; les trois disques sont supposés sans masse. Si A et B (qui correspondent aux deux courants) tournent avec des vitesses égales et de sens inverses, C tournera également, mais M (qui correspond à l'induction) demeurera en repos. Si l'on arrête brusquement le disque B, C s'arrêtera immédiatement, car, à cause de son inertie, la masse M ne pourra être mise instantanément en mouvement; par suite de cet arrêt de C, le disque A se trouvera aussi arrêté instantanément. Mais si la force motrice qui faisait mouvoir ce disque continue à agir, il se remettra à tourner avec une vitesse aug-

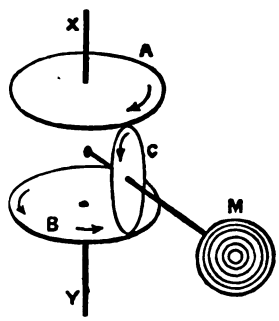


Fig. 2. — Modèle mécanique servant à illustrer les phénomènes résultant de la rupture d'un des enroulements.

mentant peu à peu depuis zéro jusqu'à un maximum.

D'ailleurs le calcul montre également que l'intensité du courant dans un enroulement doit, par suite de la rupture de l'autre circuit, diminuer d'abord très rapidement pour augmenter ensuite.

Pour plus de simplicité, supposons, avec l'auteur, que la f. é. m. entre les extrémités de chaque bobine conserve une valeur constante E. Désignons par i_1 et i_2 les intensités des courants, par r_1 et r_2 les résistances des enroulements et par L la valeur commune des self-inductions de chacun d'eux et de leur induction mutuelle. Nous avons

$$E = i_1 r_1 + L\frac{di_1}{dt} - L\frac{di_2}{dt}. \qquad (1)$$

$$E = i_2 r_2 + L\frac{di_2}{dt} - L\frac{di_1}{dt}. \qquad (2)$$

et le problème revient à chercher, au moyen

Digitized by Google

de ces équations différentielles, comment varie l'intensité i_2 quand on rompt brusquement le premier circuit, c'est-à-dire quand r_1 passe brusquement d'une valeur finie à une valeur très grande ou infinie.

En additionnant membre à membre les équations (1) et (2), il vient

$$2E = i_1 r_1 + i_2 r_2,$$

et, en différentiant cette dernière,

$$0 = i_1 \frac{dr_1}{dt} + r_1 \frac{di_1}{dt} + r_2 \frac{di_2}{dt}. \qquad (4)$$

De (3), on tire

$$i_1 = \frac{2E - i_2 r_2}{r_1},$$

et de (2),

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{i_2 r_2 + L\frac{di_2}{dt} - E}{L}.$$

Substituant ces valeurs dans (4), il vient

$$0 = L(2E - i_2 r_2)\frac{dr_1}{dt} + r_1^2 r_2 i_2 + L r_1^2 \frac{di_2}{dt} - r_1^2 E + L r_1 r_2 \frac{di_2}{dt}.$$

Pour éviter des calculs trop compliqués l'auteur, au lieu de considérer r_1 comme variable, suppose que cette quantité demeure constante et que l'intensité i_1 varie depuis une valeur finie jusqu'à zéro, hypothèse qui, nous le verrons, revient bien à considérer r_1 comme variant depuis une valeur finie jusqu'à une valeur infinie. Posons donc

$$i_1 = i_0 e^{-\alpha t};$$

on a alors

$$\frac{di_1}{dt} = -\alpha i_0 e^{-\alpha t},$$

et, en substituant cette valeur dans (2),

$$E = i_1 r_2 + L\frac{di_2}{dt} + \alpha L i_0 e^{-\alpha t}. \qquad (5)$$

Une solution de cette équation est

$$i_2 = \frac{E}{r_2} = \frac{\alpha i_0 L}{r_2 - \alpha L} e^{-\alpha t} + C e^{-\frac{r_2}{L} t},$$

et si l'on remarque que pour $t = 0$ on doit avoir $i_2 = i_0$, on obtient

$$C = \frac{\alpha i_0 L}{r_2 - \alpha L},$$

de sorte que l'équation (5) devient finalement

$$i_2 = i_0 - \frac{\alpha i_0 L}{r_2 - \alpha L} e^{-\alpha t} + \frac{\alpha i_0 L}{r_2 - \alpha L} e^{-\frac{r_2}{L} t}. \qquad (6)$$

Avant de discuter cette équation montrons que l'hypothèse faite revient à supposer que r_1 croît brusquement jusqu'à une valeur très élevée. En effet, si l'on calcule r_1, on trouve

$$r_1 = \frac{\alpha L r_2}{r_2 - \alpha L} + \frac{E}{i_0} e^{\alpha t} - \frac{\alpha L r_2}{\alpha L - r_2} e^{-\frac{r_2}{L} t}, \qquad (7)$$

Cette relation montre que, si l'on a $\alpha > \frac{r_2}{L}$, la valeur de r_1, primitivement égale à $\frac{E}{i_0}$, croît constamment avec t.

Revenons à l'équation (6). En la différentiant, nous obtenons

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{\alpha^2 i_0 L}{r_2 - \alpha L} e^{-\alpha t} + \frac{r_2 \alpha i_0 L}{L(r_2 - \alpha L)} e^{-\frac{r_2}{L} t},$$

et, pour $t = 0$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{\alpha^2 i_0 L}{r_2 - \alpha L} - \frac{\alpha i_0 r_2}{r_2 - \alpha L}.$$

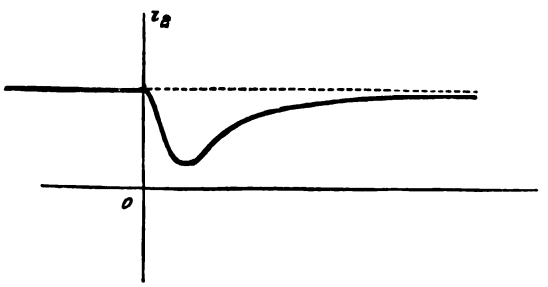


Fig. 3. — Courbe représentative de la variation de l'intensité avec le temps dans l'enroulement non rompu.

Dans le cas où α est très grand, le second membre de cette dernière égalité peut s'écrire approximativement

$$-\alpha i_0 + \frac{i_0 r_2}{L},$$

expression qui montre que, dans l'hypothèse de α très grand, l'intensité i_2 du courant dans l'enroulement non coupé diminue très rapidement.

Si l'on cherche la valeur minima de i_2 on

Digitized by Google

trouve l'expression

$$i_0 - \frac{\alpha i_0 L}{r_2 - \alpha L} e^{\beta} + \frac{\alpha i_0 L}{r_2 - \alpha L} e^{\gamma},$$

où

$$\beta = -\frac{\alpha L}{\alpha L - r_2} \log \frac{\alpha L}{r_2}, \quad \gamma = -\frac{r_2}{\alpha L - r_2} \log \frac{\alpha L}{r^2}.$$

Pour $\alpha = \infty$, cette expression prend une forme indéterminée dont la valeur limite est zéro, ce qui indique que si l'enroulement (1) est instantanément rompu l'intensité du courant dans l'enroulement (2) diminue jusqu'à s'annuler. C'est ce qui résultait de l'analogie mécanique donnée plus haut.

Si l'on suppose α très grand sans être infini la variation de i_2 avec le temps est représentée par une courbe de la forme de celle qu'indique la figure 3.

J. B.

Propriétés thermo-électriques du platinoïde et du manganin, par B. O. Pierce (1).

Cherchant à réduire autant que possible les effets perturbateurs des courants thermo-électriques dans un pont de Wheatstone à rhéocorde, l'auteur a été amené à étudier les rapports thermo-électriques du cuivre avec le platinoïde (maillechort) et le manganin. Ces

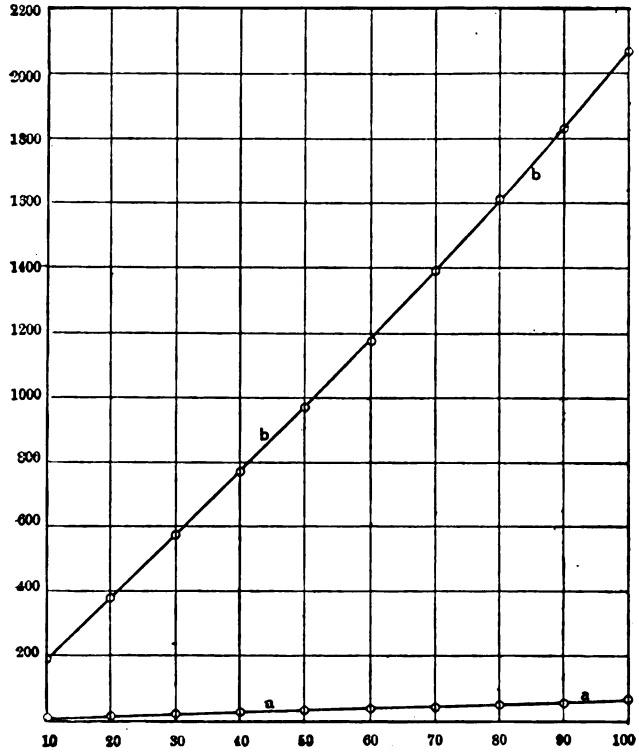


Fig. 1.

déterminations auraient eu, il y a quelques années seulement, peu de valeur à cause des propriétés très divergentes des différents échantillons de cuivre ; aujourd'hui le cuivre fourni par les États-Unis ne présente d'un échantillon à l'autre, que des différences insignifiantes. La plus grande force électro-motrice thermo-électrique entre deux échantillons de cuivre observée par l'auteur a été 0,06 microvolt par degré centigrade.

(1) *American journal of science.*

Digitized by Google

Dans les expériences décrites par M. Pierce, une des jonctions entre les deux métaux était maintenue à la température de la glace fondante tandis que l'autre était plongée dans un bain d'huile à température réglable. De tous les résultats donnés nous ne reproduirons ici que ceux se rapportant aux couples cuivre-manganin et cuivre-platinoïde. Les courbes de la figure 1 en montrent les forces électromotrices thermo-électriques en microvolts ; la courbe *a* se rapporte au premier de ces couples, la courbe *b* au second. Le courant passe à travers la soudure chaude du cuivre au manganin et du platinoïde au cuivre.

On voit que le contact du cuivre avec le manganin est beaucoup moins susceptible de produire des courants thermo-électriques perturbateurs que le contact du premier de ces métaux avec le platinoïde.

A. H.

BIBLIOGRAPHIE

Traité élémentaire d'Électricité, par ED. BRANLY (Paris, *Ch. Poussielgue,* éditeur, 15, rue Cassette, 1895).

Ce livre est destiné à l'enseignement, et, comme tel, très bien fait. On devait s'y attendre, étant donnée la valeur bien connue de l'auteur. Celui-ci le présente comme « une introduction à l'étude de l'Électricité. Les théories mathématiques ont été écartées et l'expérience seule a servi de guide ». La méthode suivie dans la classification et la clarté des définitions indiquent l'habitude que l'auteur a de l'enseignement ; le caractère essentiellement pratique de l'ouvrage est encore accusé par les nombreux problèmes posés et résolus qui, à la fin de chaque chapitre, permettent au lecteur de s'assurer s'il possède réellement les principes qu'il vient d'étudier. Nous croyons donc qu'il sera lu avec profit par tous ceux qui veulent acquérir des notions solides sur l'électricité, avant d'aborder l'étude des ouvrages spéciaux, sur le terrain desquels l'auteur n'a pas cherché, d'ailleurs, à se placer. Il ne donne des applications industrielles que le principe avec les quelques renseignements indispensables pour en faire comprendre l'importance.

Nous ne regrettons qu'une chose : c'est que M. Branly n'ait pas introduit dans son Traité, tout au moins l'exposé des théories modernes. Tandis que la science et l'industrie électriques font des progrès incessants, l'enseignement de cette partie de la Physique reste toujours le même ; c'est avec étonnement qu'on entend parler, par exemple, de l'électricité vitrée et de l'électricité résineuse comme de personnes réelles ; d'un autre côté, le rôle si important des diélectriques est passé sous silence et aucune allusion n'est faite à la notion du circuit magnétique, etc. Dans un cours, où l'on est forcément limité par le temps et où l'on doit se maintenir à la portée de ses élèves, ces questions qui ne sont pas au programme doivent être souvent négligées. Mais, dans un ouvrage destiné à être lu à tête reposée par un grand nombre de lecteurs, il nous semble qu'elles pourraient être tout au moins indiquées, et nous espérons qu'elles le seront dans les éditions suivantes qui ne manqueront pas de se produire.

G. PELLISSIER.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Paris. — Au Conseil municipal, M. Grébauval vient de poser à l'Administration une question sur le minimum de consommation imposé à ses abonnés par la Société d'éclairage et de force par l'électricité. Un certain nombre d'abonnés ayant voulu se soustraire à cette obligation, des jugements du Tribunal de commerce leur ont donné tort. La police de la Société porte en effet la mention suivante :

« Le paiement total par an ne peut être inférieur à 30 francs par carcel de puissance lumineuse des lampes installées. »

Le directeur des travaux fait observer que le cahier des charges impose aux sociétés des obli-

Digitized by Google

gations fermes, comme celle de fournir l'électricité à toute personne qui la demandera sur le parcours de ses câbles.

De plus, il est dit à l'article 20 :

« L'autorisation sera retirée après avis du Conseil municipal. . . . . .

. . . . . .

3° ... si, pour les autres voies formant le périmètre du secteur ou intérieures au secteur, le permissionnaire ne prolonge pas sa canalisation et ne fournit pas l'électricité dans les conditions de ses polices toutes les fois que les demandes atteindront 750 watts pendant 750 heures par an, pour un décamètre de canalisation. »

Voilà, dit le directeur des travaux, des obligations qui constituent des charges formelles pour les sociétés. Y a-t-il en regard une obligation pour les abonnés, en dehors du minimum de consommation ? Non, aucune.

Un abonné pourrait demander la fourniture d'une certaine quantité d'énergie électrique dans une rue dépourvue de canalisation, et le jour où la Société aurait établi cette canalisation, il pourrait ne pas user de son abonnement ou n'en user que partiellement et par intermittence.

Quant aux abonnés des rues parcourues par une canalisation existante, si l'un d'eux demande la quantité d'énergie nécessaire à l'alimentation de 100 lampes, par exemple, la Société est obligée de tenir toujours prête la quantité suffisante d'énergie électrique, que l'abonné l'utilise ou non.

Pendant longtemps, aucune difficulté n'avait été soulevée par les abonnés. Ces difficultés ont commencé avec la concurrence du bec Auer, qui a amené certains clients des sociétés électriques à renoncer à leur abonnement. La clause du minimum signalée par M. Grébauval a été le seul obstacle rencontré par ces abonnés à l'abandon du contrat qu'ils avaient consenti.

Du reste, l'Administration a pris pour base d'appréciation des types de police qui lui ont été soumis par les sociétés, la police qui a été faite pour l'usine des Halles et que le Conseil a approuvée le 19 août 1889. Cette police comporte, en effet, un minimum de consommation, et cette clause est justifiée par la nécessité de tenir toujours à la disposition de l'abonné la quantité d'énergie électrique dont il a déclaré avoir besoin.

Après discussion, la question est renvoyée à la première Commission.

Dieppe. — Nous avons déjà parlé (n° 15, 1895) de l'éclairage électrique de la belle plage de Dieppe demandé par les habitants. Aujourd'hui nous pouvons annoncer que la Société d'électricité a fait à la municipalité la proposition d'éclairer la pelouse au moyen d'une installation provisoire de lampes à arc.

Le projet présenté par la Société d'Électricité consiste à placer des pylônes au milieu de la partie gazonnée, sur une ligne parallèle à la mer. Cette disposition ne pourrait être changée que si l'administration de la marine y voyait des inconvénients au point de vue de la navigation, ce qui n'est guère probable.

Les conditions de la Société d'Électricité sont des plus avantageuses. L'installation serait faite à titre purement gracieux, et la fourniture du courant serait payée par la ville avec une diminution de 50 p. 100 sur les prix actuels des abonnés.

Espérons que ce projet sera adopté en temps voulu pour que l'installation puisse être prête pour la prochaine saison des bains.

Dijon. — Une partie de la presse bourguignonne ne paraît décidément pas goûter l'accélération des transports que les tramways électriques offrent à la population de Dijon. On proteste contre la vitesse trop grande des véhicules, et la police a reçu l'ordre d'empêcher les tramways électriques non seulement de dépasser la vitesse réglementaire, mais encore de prendre un plus grand nombre de personnes que celui fixé par le contrôle.

On ne prétendra plus que les Dijonnais sont dans le mouvement!

Nantes. Éclairage électrique. — L'institution Livet, de Nantes, forme des électriciens; ces élèves viennent de donner une preuve de leur savoir-faire en installant l'éclairage électrique dans cet établissement. La plupart des appareils et principalement la dynamo de 50 ampères sous 80 volts ont été entièrement construits par les élèves. La machine alimente, avec une parfaite régularité, 120 lampes de 50, 16 et 10 bougies.

Nantes. Traction électrique. — La Compagnie centrale de chemins de fer et tramways à Paris, après avoir installé des lignes électriques et autres dans diverses villes et avoir notamment créé le tramway de Châteaubriant à Erbray et Saint-Julien-de-Vouvantes, vient d'adresser à la ville de

Digitized by Google

Nantes, une demande de concession de quatre lignes de tramways à traction électrique aérienne.

La Compagnie demande la concession de lignes passant dans les quartiers que la Compagnie des tramways à air comprimé considérait comme impraticables, soit à cause de la largeur des rues, soit à cause de la rapidité des rampes.

Le Neubourg (Seine-Inférieure). — Le procès pendant devant le conseil de préfecture entre la ville du Neubourg, d'une part la Compagnie elbeuvienne de l'éclairage au gaz, d'autre part et M. Mérite-Sirard, entrepreneur de l'éclairage électrique, prend fin et tombe par suite d'un accord intervenu entre les parties intéressées. Il ne reste plus à obtenir que l'approbation préfectorale.

Des termes de la transaction, il résulte que la Compagnie gazière conserve le monopole exclusif de l'éclairage des voies publiques, au Neubourg, mais que les établissements communaux pourront être éclairés à l'électricité si la municipalité préfère cet éclairage.

M. Mérite qui, au début de son entreprise, avait obtenu un privilège de huit années, avec une autorisation simple de quarante années, voit son privilège prorogé de vingt années, de façon que l'expiration de celui-ci coïncidera avec l'expiration du monopole de la Compagnie gazière.

La ville du Neubourg alloue à M. Mérite 2 francs de subvention annuelle par lampe concédée par celui-ci, jusqu'à concurrence de l'installation de 200 lampes.

M. Mérite devra payer six francs de redevance annuelle, à titre d'indemnité à la compagnie gazière, pour chaque lampe qu'il installera et dont le fonctionnement lui sera payé.

Le concessionnaire de l'éclairage électrique pourra donc désormais installer sur la voie publique sa canalisation et ses appareils d'éclairage.

CHAMBRE SYNDICALE DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES

Réunion du mardi 16 avril 1895. — La séance est ouverte à 5 heures sous la présidence de M. Harlé.

Membres présents : MM. Bancelin, Beau, Bernheim, Cance, Clémançon, Ebel, Geoffroy, Harlé, Portevin, Radiguet, Roux, Sarcia, Sartiaux, Sciama, Triquet.

Se sont excusés : MM. Bénard, Denis, Hillairet, de Loménie, Vernes, Vivarez.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

Le Président donne lecture à la Chambre d'une lettre du Directeur de l'Exposition d'hygiène qui s'ouvrira à Paris, au Champ de Mars, le 15 mai prochain.

Cette lettre est accompagnée de divers documents, relatifs à cette exposition, que M. le Président dépose sur le bureau de la Chambre.

Le Président communique une lettre de M. Hininger, rue Coypel, 8, à Paris, demandant un emploi dans l'industrie électrique. M. Hininger, de nationalité suisse, a été employé dans diverses usines à l'étranger.

MM. Harlé et Sciama proposent l'admission de M. Expert Besançon, 187, rue du Château-des-Rentiers, comme membre adhérent.

M. Expert Besançon est admis comme membre adhérent du Syndicat.

La maison Delaunay-Belleville et Cie informe la Chambre que M. J. Belleville membre adhérent du Syndicat, s'étant retiré des affaires depuis quelques années, demande sa radiation à partir du 1er janvier 1895. La Chambre prend note de cette demande et exprime ses regrets de ne plus pouvoir compter M. Belleville au nombre de ses adhérents.

Le Président a reçu une lettre de M. Lafargue lui signalant les changements survenus dans le personnel des professeurs des cours d'électricité à la Fédération générale professionnelle des chauffeurs-mécaniciens, lui donnant le nombre d'élèves inscrits et d'élèves présents en lui signalant les progrès fait dans l'année. Il demande au Président de vouloir bien assister pendant quelques instants aux examens qui auront lieu le 18 avril.

Dans un article de journal annexé à la lettre de M. Laffargue, ce dernier expose le projet d'une école spéciale où l'on préparerait des électriciens.

La Chambre décide de renvoyer ces documents à l'examen de la Commission de l'Enseignement professionnel.

Le Président propose de renvoyer à la Commission du Contentieux l'examen du dossier déposé par la Société dijonnaise d'électricité.

Il rappelle que la Société dijonnaise est en butte à des difficultés, provenant de ce qu'elle ne peut obtenir les autorisations nécessaires de la Préfecture, pour ses canalisations de grande voie-

Digitized by Google

rie. M. Sciama donne diverses explications à ce sujet. La Commission du Contentieux se réunira au plus tôt pour étudier l'affaire d'une façon complète et donner son avis. Est également renvoyée à cette Commission une lettre de M. Bruandet, de Saint-Amand, relative à des questions d'autorisations de grande voirie.

M. Robert, de la Société grenobloise d'Électricité a des difficultés avec le fisc au sujet de la fixation de ses patentes.

Le dossier de cette affaire est également remis à la Commission du Contentieux.

M. Robert informe qu'il a encore des difficultés avec les Postes et Télégraphes de l'Isère, au sujet des troubles qu'apportent ses canalisations à l'exploitation téléphonique. L'Administration prétend faire supporter à M. Robert les frais de doublement des circuits téléphoniques.

M. Robert verra que cette question est prévue par la loi sur les canalisations électriques votée par la Chambre des députés et actuellement soumise au Sénat.

M. Sciama rend compte à la Chambre de l'état de la question des droits d'octroi sur les fers et fontes. La Chambre de Commerce a fait une nouvelle démarche auprès de M. le Préfet de la Seine et lui a soumis des documents devant lesquels il ne semble pas que les prétentions de la Ville puissent subsister. La Chambre de Commerce a également signalé à M. le Préfet de la Seine les difficultés énormes que présenterait la perception de ces droits. Il y a tout lieu d'espérer que ce droit sera rejeté par le Conseil d'État.

Le Président remercie M. Sciama des explications qu'il vient de donner à la Chambre.

L'ordre du jour appelle la discussion du projet d'affiliation du Syndicat professionnel des Industries électriques, à un groupe de Syndicats.

Le Président rappelle l'historique de la question et donne la parole à M. Sciama.

M. Sciama expose les avantages qu'il y a, pour un Syndicat, à ne pas rester isolé, de façon à lui permettre d'intervenir avec d'autres industries dans les questions ouvrières, sociales ou de tarifs qui peuvent se présenter.

Il rappelle que les 5 groupes existants sont : *l'Alimentation, le Bâtiment, le Syndicat Général, l'Alliance Syndicale, le Comité central.* Ce dernier est celui qui réunit les syndicats qui ont le plus de points communs avec le nôtre; il comprend en effet le Syndicat des Chauffeurs-Mécaniciens, des Industries chimiques, etc.

Malgré son affiliation, le Syndicat resterait très indépendant; il n'aurait à verser que sa quote-part des dépenses du Comité Central, quote-part qui s'élèverait de 100 à 125 francs par an, il nommerait deux délégués qui représenteraient la Chambre aux séances du Comité Central.

Après ces explications, la Chambre décide à l'unanimité de demander son affiliation au Comité Central des Chambres syndicales et désigne MM. Harlé et Meyer, pour la représenter.

M. Clémançon informe la Chambre qu'à la suite du renvoi qu'il a fait de deux ouvriers, ceux-ci ont demandé huit jours de salaires comme indemnité.

M. Clémançon a été condamné par le Conseil des Prud'hommes à payer cette indemnité; mais il en a appelé et le jugement a été annulé par la Cour de Cassation.

La *Gazette des Tribunaux* du 23 mars 1895 reproduit ce jugement qui règle une question de principe et par suite, intéresse tous les membres du Syndicat.

La Chambre décide de publier ce jugement au prochain procès-verbal.

L'ordre du jour étant épuisé la séance est levée.

Action thérapeutique des courants de haute fréquence. — On sait que M. d'Arsonval a introduit en électrothérapie des procédés nouveaux d'électrisation basés sur l'emploi des courants à haute fréquence. MM. Apostoli et Berlioz ont expérimenté depuis un an une de ses méthodes, l'auto-conduction, sur 65 malades. Voici les conclusions sommaires auxquelles ils sont arrivés :

Les courants de haute fréquence, lorsqu'ils enveloppent complètement le malade et agissent par auto-conduction, restent inefficaces et impuissants contre la plupart des troubles hystériques et contre certaines névralgies localisées; mais ces mêmes courants exercent une influence manifeste et puissante sur l'activité nutritive qui se traduit par une suractivité constante des combustions organiques.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Digitized by Google

Tome III. Samedi 11 Mai 1895. 2e Année. — N° 19.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

SUR UNE CLASSE DE PILES SECONDAIRES

Depuis l'invention de la première pile secondaire imaginée en 1803 par Risler, d'immenses progrès ont été réalisés qui ont rendu tout à fait pratique la solution d'un problème aussi important au point de vue de la théorie qu'au point de vue des applications : la transformation de l'énergie électrique d'un courant continu en énergie potentielle, emmagasinée sous forme d'énergie chimique, capable de restituer au moment voulu la presque totalité de l'énergie électrique primitive. Nous ne voulons point refaire ici l'historique bien connu des perfectionnements apportés à l'idée première, on sait comment après les beaux travaux de G. Planté, les accumulateurs au plomb sont devenus des appareils tout à fait industriels, on sait aussi le rôle considérable qu'ils jouent aujourd'hui ; et les conditions imposées à l'éclairage d'une ville, l'utilisation des forces naturelles ne peuvent que faire grandir de plus en plus ce rôle.

Les nombreux modèles actuellement en usage ont des qualités diverses ; l'ingéniosité des inventeurs s'est appliquée avec succès à rendre le prix de revient de plus en plus faible ; la capacité, le rendement de plus en plus grand, la durée de plus en plus longue ; les perfectionnements sont tels que la perfection possible est presque atteinte, seuls subsistent les inconvénients, et les défauts qui tiennent au principe même de ces appareils, ceux qui ne peuvent, par suite, être supprimés quelque habile que puisse être le constructeur. Il est intéressant de se rendre un compte exact de la nature de ces défauts ; une telle étude doit être la préface nécessaire de toute recherche sur ce sujet. Tout d'abord, la densité considérable du plomb rend nécessairement l'accumulateur très lourd, et sa capacité rapportée à un kilogramme de plaque ne pourra jamais dépasser une certaine limite ; on sait que pratiquement elle est le plus souvent voisine de 10 ampère-heures et qu'elle n'atteint presque jamais le double de cette valeur. Cet inconvénient est sérieux, la masse de matière employée devant être considérable pour obtenir des effets puissants, le prix de la matière première sera très notable. D'autre part, le poids toujours gênant, même dans les applications à poste fixe, deviendra un très gros inconvénient lorsqu'il s'agira d'application à la traction ou à la navigation. Pour obtenir des piles secondaires légères, on peut chercher à revenir à la pile à gaz de Grove. MM. L. Cailletet et E. Collardeau ont fait dernièrement (voir *Comptes rendus* t. CXIX, p. 230) une heureuse tentative : ils ont eu l'ingénieuse idée de constituer des piles sous pression, et sont ainsi arrivés à réaliser des éléments à capacité énorme. Ainsi sous la

Digitized by Google

pression de 600 atmosphères, on peut atteindre jusqu'à 176 ampère-heures par kilogramme en se servant comme électrodes de palladium en mousse; malheureusement les métaux nobles non susceptibles de s'altérer chimiquement au contact de l'électrolyte et des produits de sa décomposition semblent seuls aptes à former des accumulateurs à gaz condensé dont la capacité augmente avec la pression; l'emploi de tels métaux étant trop onéreux, il n'y a guère possibilité d'appliquer pratiquement les résultats démontrés par MM. Cailletet et Collardeau; au point de vue théorique leur beau travail reste néanmoins de première importance.

On peut chercher à alléger l'accumulateur d'une autre façon; dans la liste des métaux, le plomb se présente comme un des plus lourds, ne paraît-il donc pas possible d'obtenir une bonne pile secondaire avec d'autres électrodes? est-il impossible d'utiliser l'aluminium ou d'autres métaux légers? A cette question on ne saurait donner une réponse formelle; ce n'était point au hasard que Planté avait choisi le plomb pour constituer ses accumulateurs; il avait examiné la plupart des métaux usuels et recherché d'une façon rationnelle quel était celui qui fournissait le meilleur résultat, c'est-à-dire quelles électrodes subissent l'altération la plus profonde au moment de la charge et, par suite, sont capables d'emmagasiner les plus grandes quantités d'énergie, le plomb donnait des résultats exceptionnels, et l'on sait combien les résultats furent meilleurs encore lorsqu'on eut l'idée de remplacer le plomb par des oxydes de plomb; mais malgré l'infériorité constatée des autres métaux, on ne peut affirmer qu'il soit absolument vain de faire de nouvelles tentatives; peut-être pourra-t-on employer un jour un métal rendu poreux, peut-être aussi trouvera-t-on grand avantage à la substitution de certains électrolytes à l'eau acidulée exclusivement utilisée jusqu'ici.

La trop grande densité du plomb et de ses composés n'est pas le seul inconvénient de principe qui se rencontre dans les accumulateurs; en réalité, les plaques électrodes sont formées, on le sait, d'une carcasse ayant la forme d'un grillage, et dans chacun des jours de ce grillage on comprime une pastille contenant une pâte d'argile mêlée souvent d'un agglutinant convenable. La carcasse est presque complètement inactive, elle ne sert guère que de support et de conducteur, elle alourdit d'une façon fâcheuse l'appareil, c'est un supplément inutile, une mise de fonds, un poids mort regrettable. Mais le manque d'homogénéité de la plaque entraîne un autre inconvénient, des couples locaux peuvent s'établir, des phénomènes thermo-électriques vont se produire, aux soudures des effets Peltier sont à craindre; la substitution des oxydes au métal augmente considérablement la capacité, mais les oxydes ne sont pas très bons conducteurs de l'électricité, et à ce point de vue sont inférieurs au métal; aussi ne doit-on pas s'étonner que le rendement de l'accumulateur en énergie soit très inférieur à son rendement en quantité, il n'atteint guère en général que 75 p. 100 tandis que ce dernier monte souvent à 90 p. 100; une partie très notable de l'énergie se dissipe donc sous forme de chaleur, tant à la charge qu'à la décharge.

A d'autres égards encore la constitution complexe des plaques a de fâcheux effets, elle donne une grande fragilité à la pile, elle ne lui permet qu'une durée limitée; quelques soins, quelques précautions que l'on prenne, il arrive un moment où la matière active se désagrège, et pour la plaque positive surtout les années sont très parcimonieusement accordées; mais si les précautions indiquées sont omises les jours eux-mêmes sont comptés. Pour ne pas mettre rapidement la pile hors d'usage, il convient de ne la soumettre jamais qu'à un régime de charge et de décharge bien déterminé; il faut prendre bien garde de ne pas pousser la décharge jusqu'au bout, éviter soigneusement les courts circuits; ces restrictions assez gênantes dans la pratique courante et l'usage journalier interdisent en outre presque complètement l'emploi des accumulateurs comme transformateurs, et cette interdiction

Digitized by Google

est des plus regrettables; il semble bien que les transformateurs sont appelés à jouer dans l'avenir un rôle de plus en plus consi lérable, ils doivent intervenir dans une distribution rationnelle d'énergie électrique, et si les phénomènes d'induction permettent la transformation facile et simple de l'énergie d'un courant alternatif, ils ne sauraient être utilisés dans le cas de courants continus; les transformateurs dits à courants continus ne sont en réalité que la réunion de deux dynamos, une réceptrice, une génératrice très ingénieusement associées, ne comportant par exemple qu'un seul inducteur; mais, outre que le système est complexe, le rendement est naturellement très diminué. Les accumulateurs, au contraire, qui entrent déjà comme complément nécessaire dans toute distribution par courant continu, seraient les transformateurs naturellement indiqués n'était l'usure rapide à laquelle on les condamnerait si on les soumettait à un régime aussi variable. Ne serait-ce pas un progrès des plus grands que de réunir dans un même appareil la possibilité d'emmagasiner et de transformer l'énergie?

Pour terminer cette étude critique sur les défauts systématiques des accumulateurs, on pourrait encore signaler comme inconvénient notable la nécessité de n'employer comme électrolyte que des liquides purs, de l'eau distillée et de l'acide sulfurique pur; enfin dans leur fabrication même, la main-d'œuvre revient à un prix très élevé, la complexité de leur composition, les difficultés que l'on rencontre pour obtenir une bonne agglomération des plaques, rendent assez considérable le prix de revient; l'appareil une fois construit ne saurait être réparé, en cas d'accident, que par le constructeur lui-même qui reste maître de ses secrets de fabrication et dont les ouvriers habituels possèdent seuls le tour de main nécessaire; il est tout à fait impossible à un industriel, à un physicien, à un chimiste de fabriquer seul les accumulateurs dont il voudrait se servir à un moment donné.

A coup sûr, il serait tout à fait illusoire d'espérer que l'on peut supprimer en même temps tous les inconvénients que nous venons de signaler, on ne peut probablement atténuer un défaut sans risquer d'en accroître un autre, mais il est néanmoins intéressant au point de vue théorique de chercher s'il n'est pas possible de remplacer les accumulateurs au plomb par d'autres combinaisons qui ne fonctionneront point dans les mêmes conditions, et peut-être même pourra-t-on tirer de ces recherches purement spéculatives quelques indications pour des applications futures.

C'est ainsi que nous avons été amené à nous demander si l'on ne pourrait obtenir de bons résultats en substituant aux oxydes poreux des electrodes *à l'état liquide* où l'attaque pourrait se produire plus complète, où aucune désagrégation ne serait naturellement plus à craindre.

Dans cette voie diverses recherches sont indiquées, elles sont en cours d'exécution; on peut examiner les métaux fondus, les oxydes liquides, les alliages et les amalgames. Une semblable étude est longue et nous ne pouvons, pour l'instant, qu'indiquer les résultats obtenus dans le cas le plus simple, le cas du mercure.

Si l'on constitue une auge électrolytique où les électrodes sont en mercure, le phénomène ordinaire de polarisation va se produire, mais si l'on veut obtenir une véritable pile secondaire, il faut bien entendu renoncer à se servir comme électrolyte d'une dissolution acide, car dans le cas où l'on se servirait d'un acide, l'électrode positive serait seule attaquée, à l'électrode négative, l'hydrogène se dégagerait et ce dégagement correspondrait à une dissipation d'énergie que l'on ne pourrait récupérer. Au contraire en utilisant un sel métallique en dissolution, on formera pendant la charge un amalgame à la cathode, et cet amalgame formera avec le mercure de l'anode un couple électrique. On peut essayer la plupart des sels, puisque la plupart n'attaquent pas sensiblement le mercure; un certain nombre de ceux que nous avons examinés nous ont fourni des résultats curieux à divers égards, mais au point de vue qui nous intéresse ici plus spécia-

Digitized by Google

lement les sels alcalins des haloïdes sont plus particulièrement remarquables. On obtient avec ces sels des piles parfaitement réversibles de force électromotrice élevée, voisine de 2 volts; toutefois si l'on emploie des chlorures ou des bromures, le chlore ou le brome attaque le mercure positif, les chlorures ou bromures insolubles qui se forment constituent une couche peu conductrice, et par suite de la résistance ainsi créée le rendement n'est pas bon. Tout autre est le résultat obtenu avec les iodures, ainsi si l'électrolyte est une dissolution assez concentrée d'iodure de sodium, pourvu que la densité du courant ne soit pas trop grande et que l'électrode positive soit de surface plus large que la négative, aucun dépôt ne se forme sur l'anode qui reste parfaitement nette; la liqueur contenant l'iodure de mercure formé en dissolution dans l'iodure alcalin demeure limpide, cependant que le sodium se combine presque intégralement à la cathode à la condition que la température ne s'élève pas trop. On est donc en possession d'un moyen permettant de constituer une pile secondaire où les deux électrodes restent après la charge comme avant *entièrement métalliques;* on peut par suite rendre la perte d'énergie aussi petite que l'on voudra. La seule perte d'énergie qui se produise dans l'appareil correspond à la disparition d'une fraction du sodium déposé par le courant qui passe à l'état de soude, mais cette perte pourra être rendue très faible si l'intensité du courant n'est pas trop grande; le rendement de l'accumulateur en quantité atteint aisément 90 p. 100 et le rendement en énergie est presque le même; le régime de décharge est absolument indifférent; la pile peut être mise en court circuit et déchargée complètement sans inconvénient. La force électromotrice a été mesurée par comparaison avec un étalon Gouy. On a trouvé 1 volt, 85 en pleine charge. Cette valeur baisse très lentement pendant la décharge. Il était intéressant de chercher comment la force électromotrice dépend de la température, on sait en effet que la théorie thermodynamique de la pile établit à cet égard des résultats très importants, elle permet de trouver une relation entre cette variation et la différence entre la chaleur chimique et la chaleur voltaïque. La pile une fois formée a été chauffée dans des bains convenables uniformisant bien la température, deux thermomètres plongés dans les deux mercures donnent la température qui doit être bien uniforme si l'on veut se garder des phénomènes thermo-électriques; on a pu ainsi constater qu'à une période de décharge donnée la valeur de la force électromotrice est sensiblement indépendante de la température. Conformément à la théorie que nous venons de rappeler, il faut conclure de là que la différence entre les deux chaleurs est très voisine de zéro et par suite que toute l'énergie chimique communiquée à l'élément se récupère bien sous forme d'énergie électrique.

La disposition à donner à l'accumulateur peut varier, de cette disposition dépendront le rendement, et la capacité. Au point de vue du rendement il importe que la résistance soit la plus faible possible, à cet égard on obtiendra de très bons résultats en employant comme électrodes deux surfaces de mercure séparées par une mince cloison en verre, se terminant à peu près au même niveau et submergées par l'électrolyte; le courant sera amené par des fils de fer ou de platine soudés dans du verre et mis à nu seulement là où ils plongent dans le mercure. Pour que la capacité soit grande il y a intérêt à prendre des épaisseurs de mercure très faibles mais des surfaces très grandes. On obtient aisément des capacités de l'ordre de grandeur de la capacité pratique des accumulateurs à plomb. En prenant de simples pellicules comme celles que l'on rencontre dans le bain pelliculaire de M. Perigaud, aujourd'hui si employé en astronomie, on obtiendra sans doute des résultats supérieurs, mais à cet égard les expériences ne sont point encore complètement terminées. Notons en passant, qu'avec les grandes surfaces de mercure employées, les phénomènes électrocapillaires si admirablement étudiés par M. Lippmann deviennent très considérables, il est curieux d'observer que l'on peut préci-

Digitized by Google

sément utiliser ces phénomènes pour obtenir une amélioration dans la capacité. Il est bon en effet, pour transformer la cathode intégralement en amalgame, d'agiter un peu le mercure qui la constitue, mais point ne sera besoin d'un agitateur, il suffira d'interrompre et de fermer à nouveau le courant, la variation de la constante capillaire provoquera un mouvement suffisant. Une précaution tout à fait nécessaire, si l'on veut conserver longtemps la pile en charge avant de la faire travailler, est de soustraire l'amalgame au contact du liquide qui l'attaque à la longue; pour y arriver divers artifices peuvent être employés; si la charge n'a pas été poussée à fond l'amalgame sera encore fluide, et pourra s'écouler par un robinet convenablement disposé ; si au contraire il est devenu presque solide comme il arrive à la fin, on pourra utiliser pour le soulever un système analogue à celui qui est employé dans les piles à treuil.

Dans la pile que nous venons de décrire le mercure positif ne joue pour ainsi dire que le rôle d'un conducteur, toute l'énergie appartient à la cathode; il est naturel d'essayer de remplacer ce mercure par un corps moins dispendieux, plus maniable, le charbon par exemple.

Mais alors l'iode ne se combine plus, il se répand dans toute la masse, occasionnant un grand trouble, et créant toutes sortes d'inconvénients ; il est bien préférable dans ce cas de revenir à un chlorure, au chlorure de sodium par exemple. La pile ainsi formée charbon, dissolution de sel marin, mercure se charge parfaitement; au point de vue théorique elle est beaucoup moins parfaite que celles que nous avons tout d'abord décrit, le chlore se dégage en effet à peu près complètement au pôle positif en charbon, et au point de vue de l'emmagasinement de l'énergie, ce phénomène correspond à une perte sensible. Il est au contraire très possible que l'opération soit rémunératrice au point de vue économique, le chlore ainsi mis en liberté ayant une valeur considérable par rapport au sel marin. D'autre part quelques essais semblent prouver qu'il ne serait pas impossible d'obtenir avec des charbons poreux une condensation du chlore; on obtiendrait alors un accumulateur dont le rendement resterait très grand, et dont le prix de revient pourrait n'être pas très élevé, car si le mercure coûte douze fois plus que le plomb on pourrait peut-être arriver à en employer douze fois moins.

Les éléments que nous venons d'étudier sont donc, à coup sûr, encore très loin d'avoir un emploi possible dans la pratique industrielle courante; mais peut-être pourra-t-on arriver à ce point de vue à de meilleurs résultats. Ils ne sauraient bien entendu être utilisés que dans des installations à poste fixe, là surtout où l'on voudrait obtenir des piles secondaires avec les matériaux que l'on rencontre d'ordinaire dans tout laboratoire. Mais, en laissant même de côté des espoirs un peu lointains, nous pensons qu'il y a quelque intérêt à envisager ainsi d'autres combinaisons que les accumulateurs au plomb ordinaire, et, au point de vue purement théorique, la classe particulière de piles que nous venons de décrire est remarquablement simple et se prête à des recherches nettes et précises.

LUCIEN POINCARÉ,
professeur à l'École normale supérieure de Sèvres.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ (1)

Les applications de l'électricité aux appareils de levage de toutes sortes : grues, ponts roulants, ascenseurs, cableways, etc., sont extrêmement nombreuses et variées (2) principalement aux États-Unis, où l'on fait d'ailleurs constamment un emploi très fréquent des applications mécaniques de l'électricité.

Parmi ces appareils de levage électriques américains, ceux de la *Shaw Electric C°* peuvent être considérés comme des mieux

(1) *Eclairage Électrique* du 6 avril, p. 13.
(2) *La Lumière Electrique*, 27 janvier 1894, p. 106.

Digitized by Google

étudiés et des plus fréquemment employés (1).

Le pont roulant de cette Compagnie représenté par les figures 1 à 5 se distingue par l'emploi de deux voies superposées *b* et *e*, sur lesquelles roulent trois treuils : un treuil principal B et deux auxiliaires D, commandés par des dynamos. L'emploi de ces trois treuils indépendants rend faciles et sûres les manœuvres les plus compliquées. Les treuils auxiliaires peuvent fonctionner isolément ou en se concertant avec le treuil principal, dont ils peuvent se rapprocher plus que ne le feraient deux treuils placés sur une même voie.

Enfin, avec la disposition représentée en figures 6 et 7, les treuils auxiliaires F sont mobiles sur une voie inférieure et latérale à celle

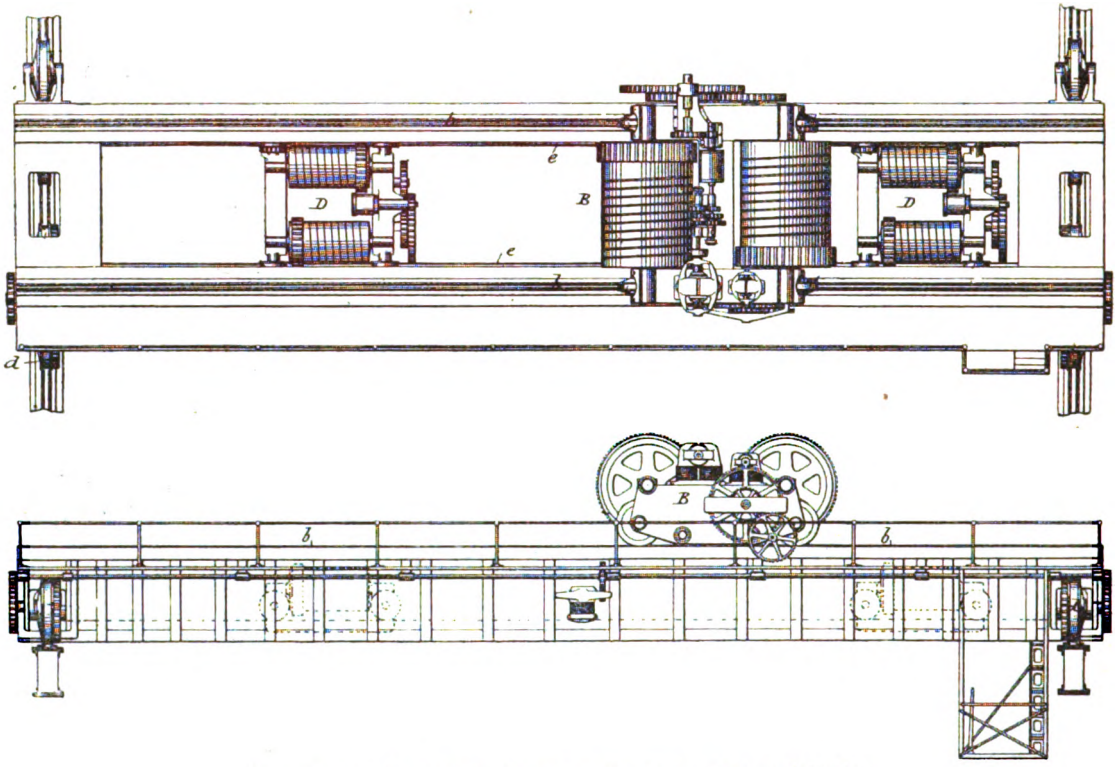


Fig. 1 et 2. — Pont roulant à deux voies Shaw. Plan et élévation.

du treuil principal E, de manière à n'interférer en rien dans ses mouvements.

La commande de l'*ascenseur* électrique *Creiger* est (fig. 8 à 11) disposée de manière à permettre à la dynamo de prendre sa vitesse avant d'entraîner — sans choc et par friction — la cabine de l'ascenseur, puis à arrêter immédiatement cette dynamo par un frein automatique, dès la suppression du courant.

A cet effet, la dynamo A a son arbre B rompu par un embrayage centrifuge à friction composé d'un plateau C, calé sur B, et porteur de deux masses centrifuges D D, qui, dès que la dynamo a acquis une vitesse réglée par les ressorts E E, entraînent par leur frottement le plateau G, calé sur le prolongement F de l'arbre B. Cet arbre F fait alors tourner, par le train hélicoïdal I J *c* R S, le treuil de l'ascenseur.

Quant au frein automatique, il consiste en un levier L, qui, dès que l'on supprime le cou-

(1) *La Lumière Electrique*, 30 janvier, 1894 p. 113. A citer aussi les grands ponts roulants de *Seelers*, notamment celui de *150 tonnes* avec 15 m. de portée et 9 m. de lever, construits par les ateliers *Carnegie*, (catalogue de 1895, p. 338).

Digitized by Google

rant à la dynamo, en amenant l'excentrique N de la roue de manœuvre P dans la position indiquée en figure 9, laisse retomber le levier M, dont le poids 7 serre alors sur G les sabots 8 8.

La marche de l'ascenseur de *Lutz* est contrôlée par un système de commutateurs à rhéostat, dont la marche est facile à suivre sur les figures schématiques 12 à 15.

Quand on amène comme en figure 15 l'aiguille *k* du commutateur K de la cabine sur la première touche M de gauche, le courant, amené par E E_2 à *k*, passe, par cette touche et l'un des fils J du câble J_2, à la première des bobines du solénoïde I, puis à la dynamo au travers de toutes les résistances *f* du rhéostat F, résistances que l'on supprime graduellement, à mesure que l'on continue le mouvement de *k* : chacune des bobines de I ainsi excitées attirant successivement la courte armature *i* du solénoïde. Si l'on faisait, au contraire, marcher *k* trop vite, le courant de la bobine suivante de I ne l'exciterait pas à temps pour empêcher l'armature lâchée par la bobine précédente de tomber en F, et de rompre le circuit. On prévient ainsi tout danger d'accident au moteur D par une mise en pleine charge immédiate.

Le sens de la marche de la dynamo D est commandé par un commutateur inverseur P, actionné par deux électro-aimants R et R_1, reliés d'une part tous deux au circuit de retour, puis chacun à l'un des fils N, aboutissant aux contacts LL de K qui dérivent ainsi par *k* une partie du courant de L_2 sur R', suivant que l'on tourne *k* à droite ou à gauche, de sorte que cette aiguille règle à la fois la puissance et le sens de la marche du moteur.

Une dash pot à air G amortit les mouvements de l'armature *i*, et permet de régler la sensibilité du rhéostat.

L'ascenseur de *Parkins* appartient à la classe, assez nombreuse aux États-Unis, des ascenseurs hydro-électriques, dont le mécanisme est commandé par un moteur électrique. Dans ce dispositif, la pompe b^1, commandée par la dynamo *c*, marche toujours, et refoule de l'eau dans le réservoir accumulateur a_6, jusqu'à une pression fixée par la charge du diaphragme régulateur d_3. Dès que cette pression est

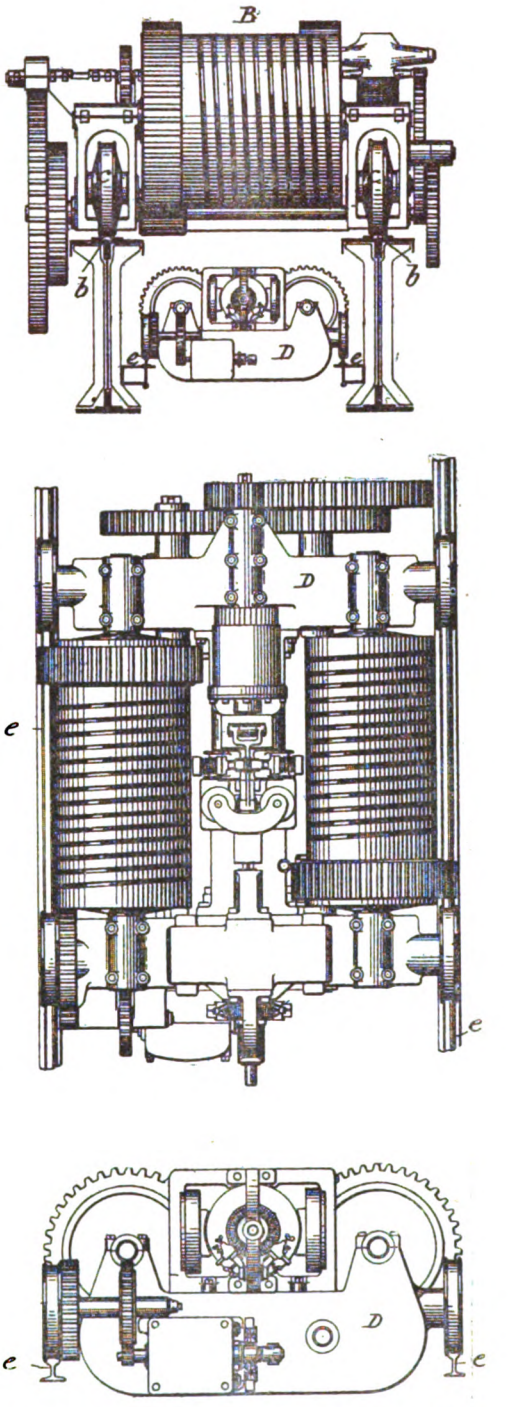


Fig. 3, 4 et 5. — Pont roulant à deux voies Shaw. Coupe transversale et détail du treuil auxiliaire.

atteinte, ce diaphragme ouvre le robinet b_3, qui

Digitized by Google

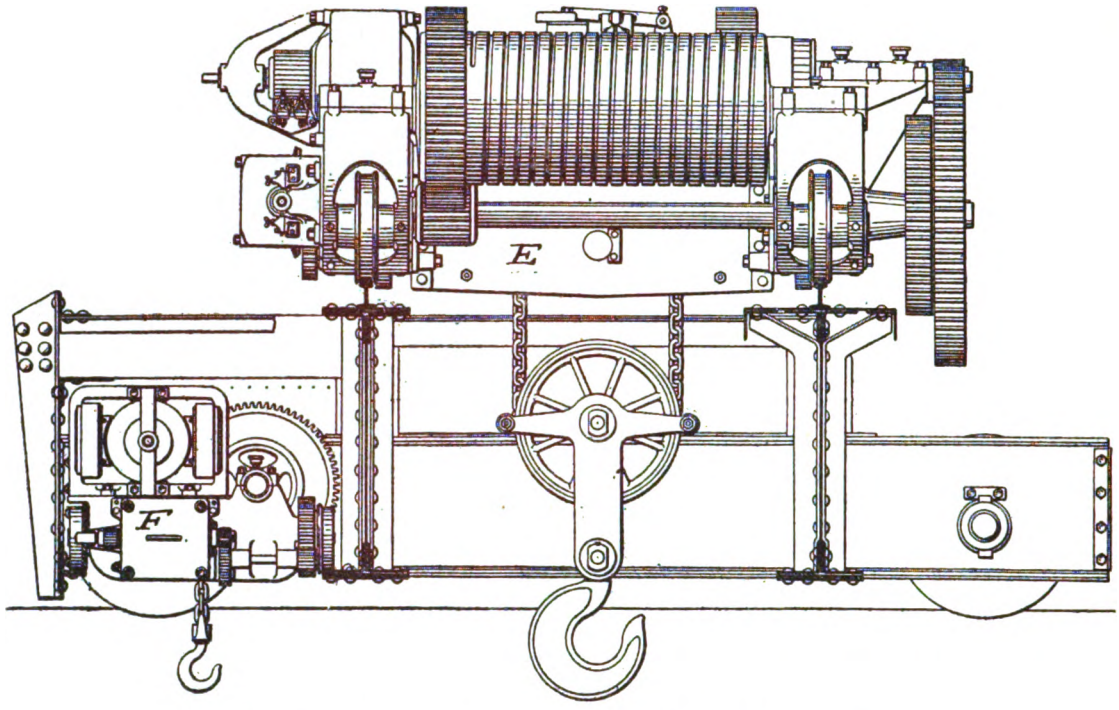


Fig. 6. — Pont roulant Shaw à voie latérale. Coupe transversale.

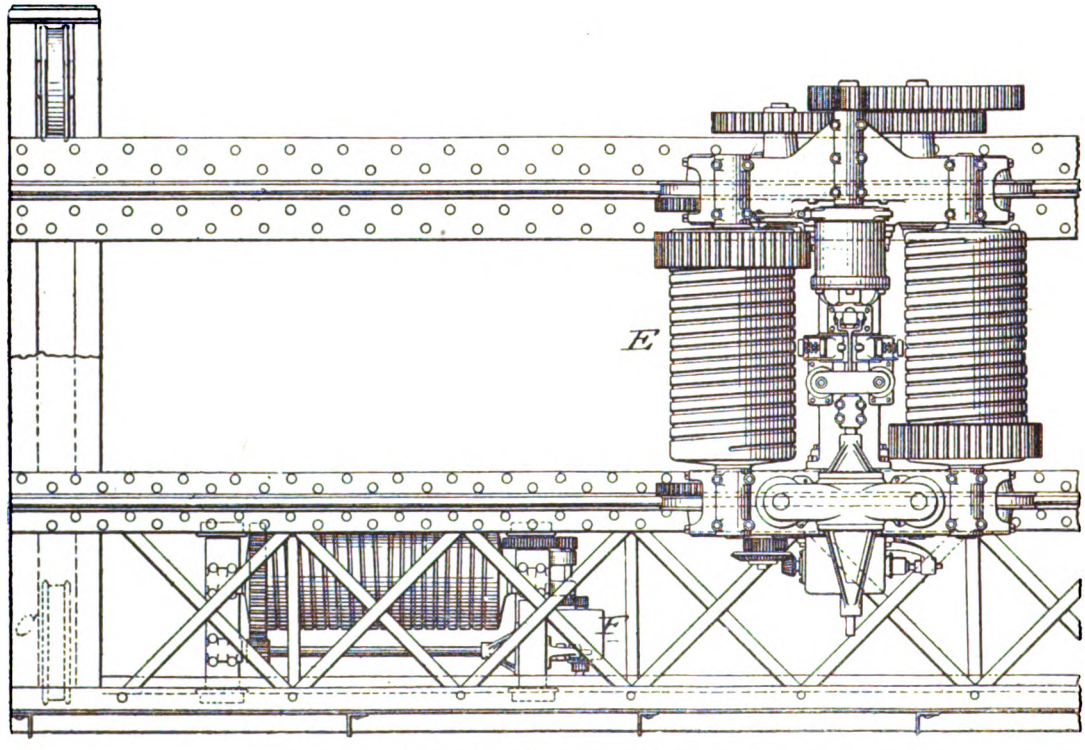


Fig. 7. — Pont roulant Shaw à voie latérale. Plan.

Digitized by Google

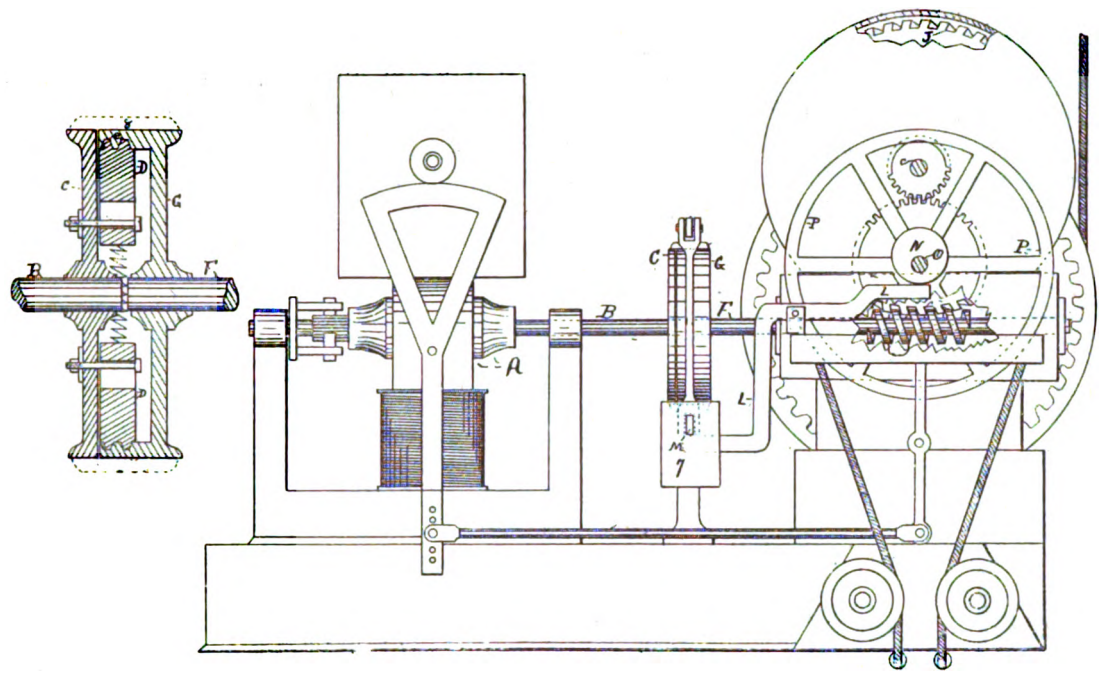


Fig. 8 et 9. — Ascenseur Creiger.

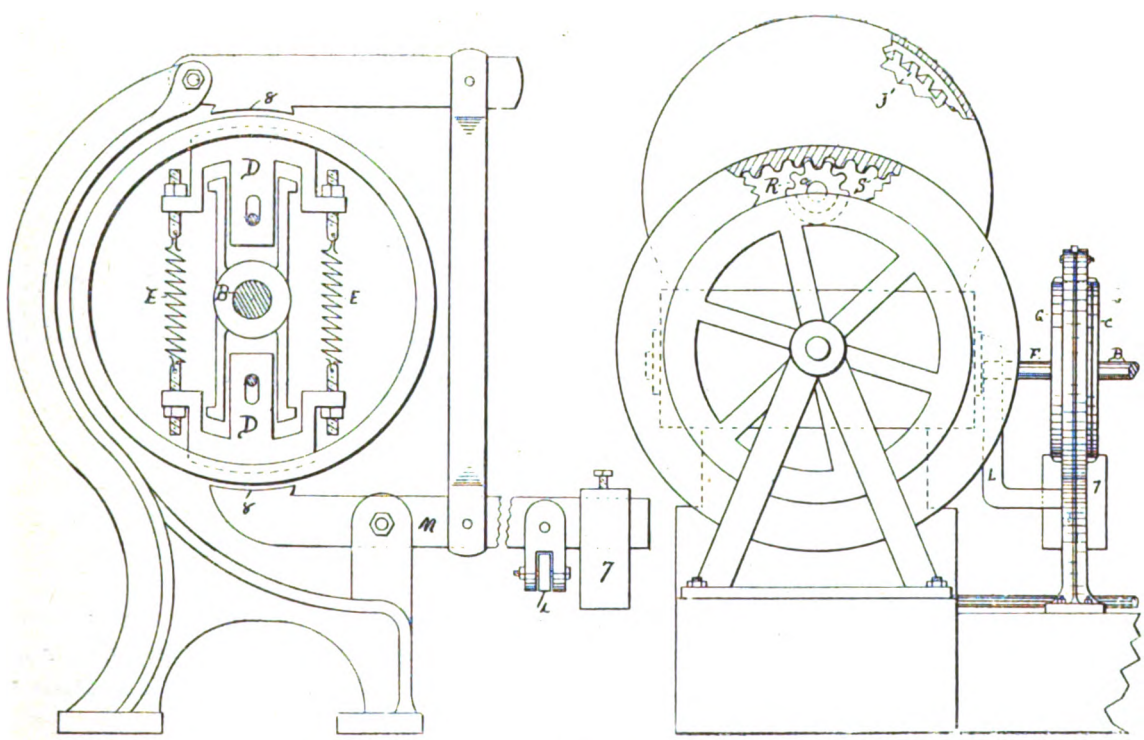


Fig. 10 et 11. — Ascenseur Creiger.

Digitized by Google

envoie l'eau refoulée par la pompe au réservoir du trop-plein a^8 d'où elle est aspirée par b_3, indéfiniment, jusqu'à ce que, la pression étant de nouveau tombée en a^6, par une montée de l'ascenseur, b_3 se referme, et rétablisse le refoulement en a^6 au travers du clapet de retenue d_6.

C'est une disposition fort simple, mais qui

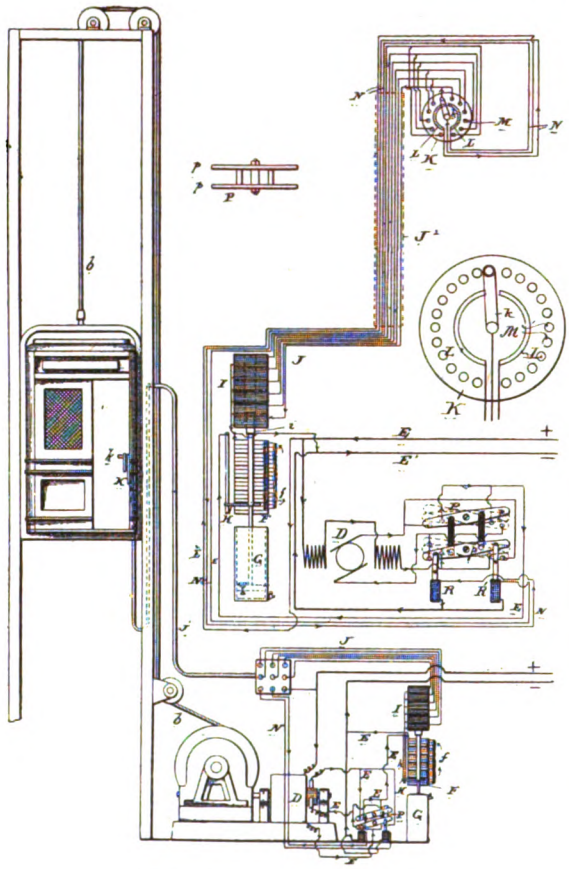


Fig. 12 à 15. — Ascenseur Lutz.

ne peut guère être employée qu'avec des ascenseurs constamment occupés.

On a souvent besoin dans les essais de machines à vapeur, de faire partir ou d'arrêter simultanément plusieurs indicateurs; le dispositif de M. *Lane*, adopté par la Compagnie Corby de Boston satisfait très simplement à ce desideratum par l'emploi de l'électricité.

L'un des indicateurs C (fig. 18) porte un contact C représenté en détail par les figures 19 et 20 et les autres des électro-aimants E, représentés en détail par les figures 21 et 22.

Quand on appuie, par a_5 (fig. 20) le style a' du premier indicateur sur son tambour, on

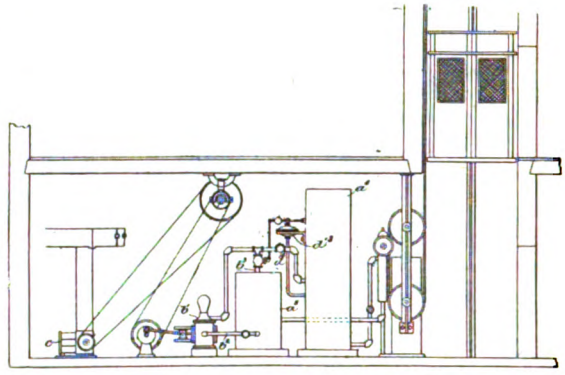


Fig. 16. — Ascenseur hydro-électrique Parkins.

ferme par c_5 c_7 c_4 (fig. 22) le circuit des électro-aimants des autres indicateurs, qui, attirant leurs armatures e', appuient leurs styles sur leurs tambours, et tracent leurs diagrammes en même temps que le premier indicateur. Le

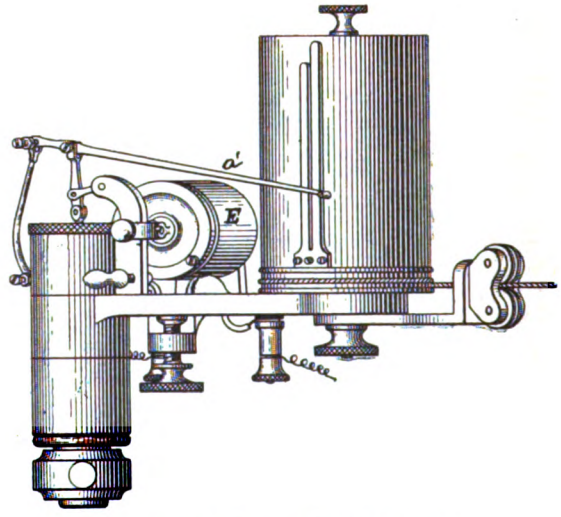


Fig. 17. — Indicateur électrique Lane.

ressort réglable e_3 permet de régler la sensibilité des électro-aimants, et le loquet e d'immobiliser à volonté tel ou tel indicateur sans toucher à ses fils.

Le *retoucheur* électrique de *Savage* repré-

Digitized by Google

senté par les figures 24 et 26 est remarquable par la grande douceur de son action. Cette douceur est due à ce que le tube porte-pointe J est actionné, de l'armature C de l'électro-aimant B, à contact trembleur *e*, non pas directement, mais par l'intermédiaire de deux ressorts *h* et *k*, agissant l'un pour amortir la frappe de l'armature, qu'il transmet au tube par sa traverse I, et l'autre pour relever le tube par cette même traverse.

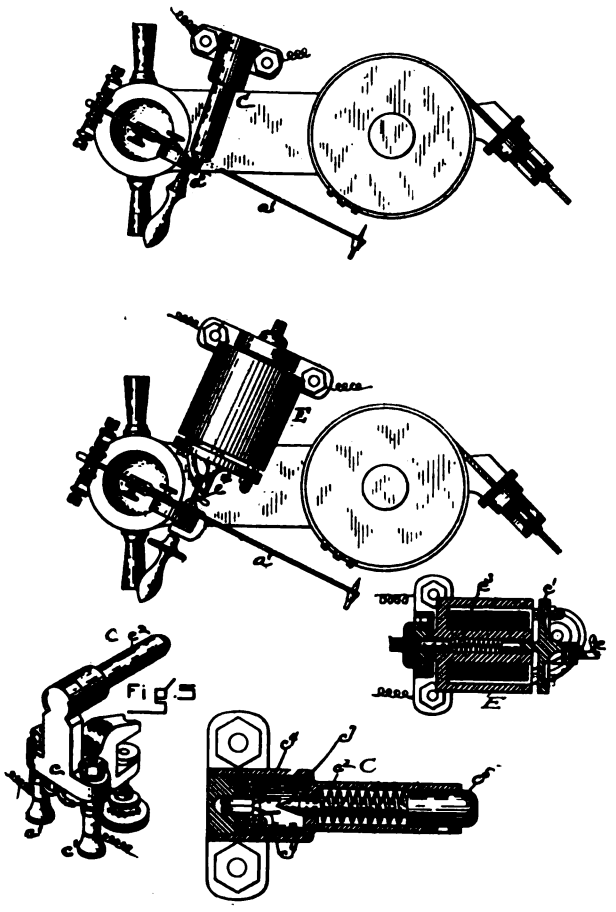


Fig. 18 à 22. — Indicateur électrique Lane. Détail du fonctionnement et du contact.

On a souvent proposé de remplacer, dans les métiers Jacquard, l'action des cartons par celle d'électros-aimants correspondant à leurs trous et périodiquement excités; mais on s'est trouvé, en général, arrêté par les dimensions considérables qu'il fallait donner à ces électros-aimants. La maison *Siemens et Halske* a récemment proposé un dispositif très ingénieux, qui permet de manœuvrer les crochets du Jacquard au moyen d'électros de très faible puissance.

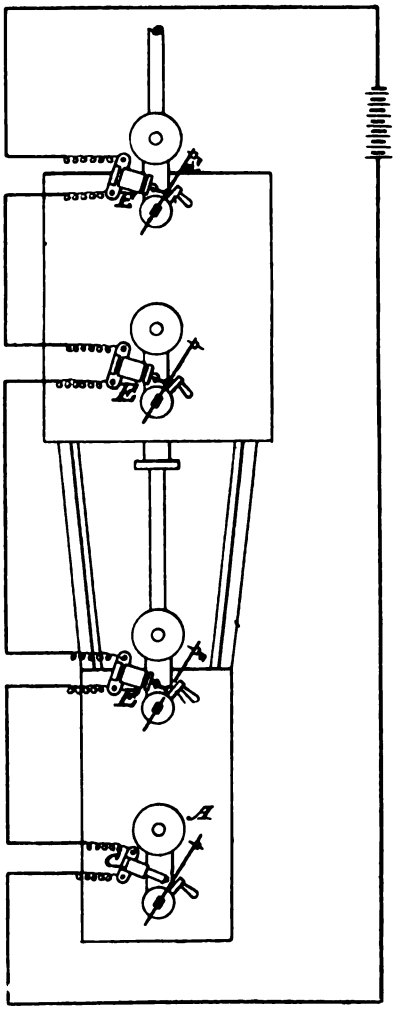


Fig. 23. — Indicateur électrique Lane. Montage sur une machine Compound.

A cet effet, quand le battant *a* (fig. 27), commandé par la tige *l*, s'abaisse, comme en figure 27, sa traverse *s* repousse tous les crochets *cop*, reliés par les œillets *d*, et les tiges *d* aux armatures A d'autant d'électros-aimants E qu'il y a de crochets. Au retour du battant (fig. 27), ceux de ces électros qui ne sont pas

Digitized by Google

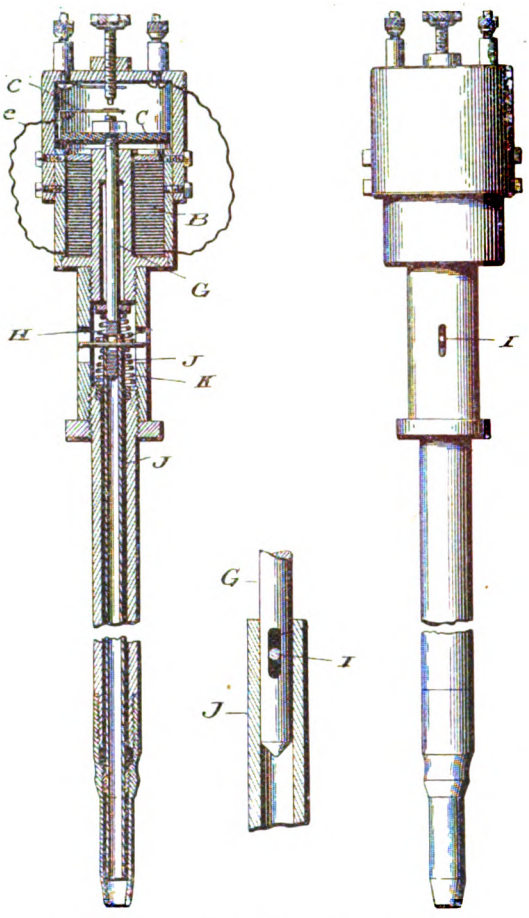


Fig. 24 à 26. — Retoucheur électrique Savage.

excités, lâchent leurs armatures et les crochets correspondants, qui, rappelés par leur élasticité, sont seuls enlevés par la barre *m* du battant. Les armatures A sont folles sur *d* (fig. 29) et poussées vers les électros-aimants par des ressorts *f*, trop faibles pour résister au rappel des crochets, mais qui aident d'autant la marche du battant : il résulte, en outre, de la liberté des tiges *d* dans leurs armatures A, que ces tiges traversent ces armatures après les avoir laissées s'appliquer sur E, de sorte qu'elles ne courent aucun risque de se fausser. Ainsi, les armatures se trouvent, pendant l'allée et venue des tiges *d*, d'abord appuyées graduellement sur les électros E, de manière à bien leur assurer le contact nécessaire à une attraction efficace, puis reprises par les tiges *d* en *g*; et l'on assure, par cette disposition fort simple, l'exactitude du fonctionnement des tiges *d*, sans aucun réglage des armatures A.

On peut, comme l'indique la figure 30 disposer les électros-aimants $E^1, ^2, ^3, ^4$... en quantité, par groupes *w*. *w*... sur le conducteur C et réaliser la périodicité de leurs excitations au moyen de contacts tubulaires I, II, III... de longueurs variables, enfilés sur des barraux isolants *n*, entraînés, par deux chaînes sans fin S, sur un tambour polygonal D, qui reçoit,

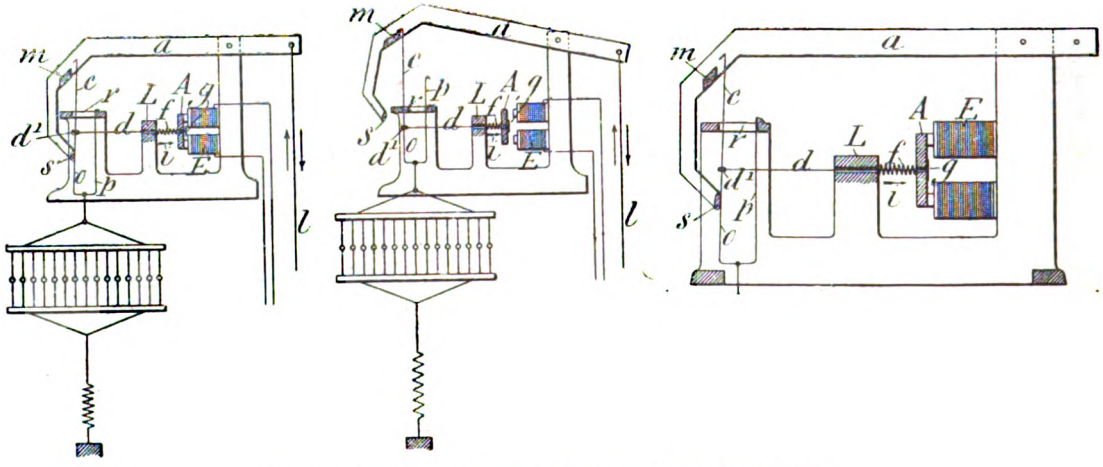


Fig. 27, 28 et 29. — Jacquard électrique Siemens et Halske.

du métier, un mouvement discontinu, de manière à amener successivement les barreaux *n* et leurs contacts sur les touches correspondantes *f*, f_1,... des bobines E.

Digitized by Google

L'ingénieuse machine de *Cox*, construite par la Cox Type Setting Machine C° de Chicago, a pour objet de permettre de composer à distance les dépêches en même temps qu'on les envoie aux journaux. On saisira facilement les principales particularités de son fonctionnement au moyen des figures schématiques 34 et 38.

La machine à composer, dont on n'a indiqué que les éléments essentiels, se compose d'une série de magasins A, tenant chacun une provision d'un même caractère. Ces caractères sont projetés isolément, par des éjecteurs A', sur une courroi sans fin B, qui les amène successivement par B' (fig 36) au composteur B_3 où ils sont alignés et avancés par le poussoir B_4. Les éjecteurs A', sont commandés par des

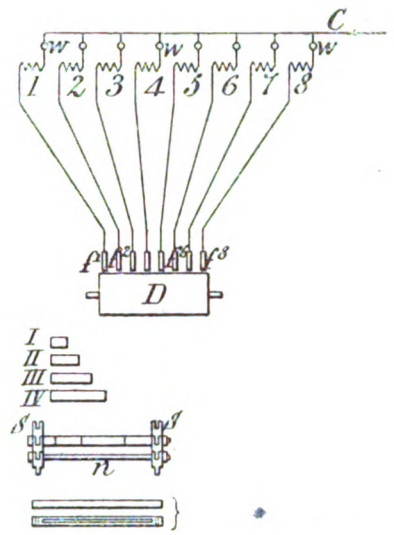


Fig. 30 à 33. — Jacquard électrique Siemens et Halske.

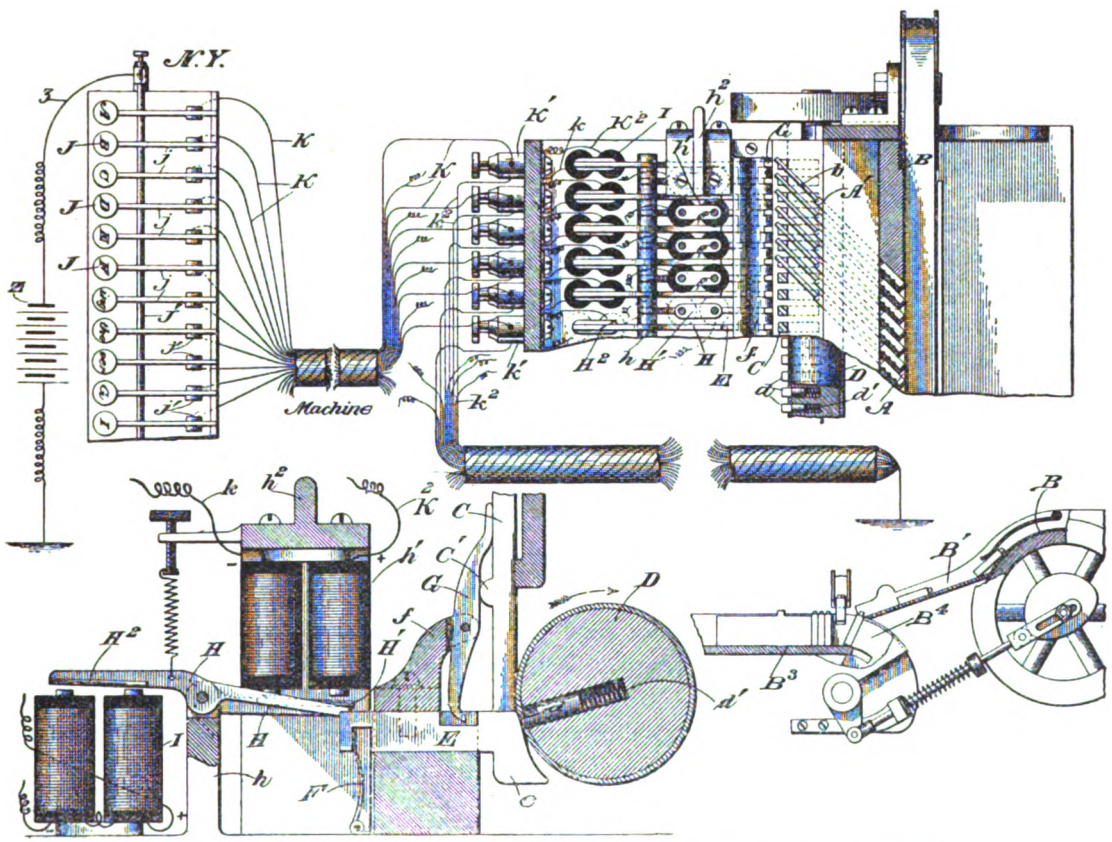


Fig. 34 à 36. — Télétypeuse électrique Cox. Plan du transmetteur et du récepteur. Détail d'un embranchement H et de l'alimentation du composteur.

leviers coudés *b* (fig 38) à rappel *b'*, soulevés | par les tiges C à chaque passage des boutons

Digitized by Google

d (fig. 37) du cylindre D, mis en rotation rapide par le dynamoteur de la machine.

Afin que ces boutons *d* ne lancent leurs caractères respectifs qu'au moment voulu, l'on a disposé devant chacun d'eux un rétracteur E *e*, qui, lorsqu'il est, comme en figure 38, maintenu en avant malgré son rappel F, par son cliquet H, repousse *d* dans D, malgré son ressort *d'*, et lui fait manquer C. A chaque levée d'une tige C, le rétracteur correspondant est avancé par son levier C, qui repousse C' puis renclanché avec H, si ce cliquet n'est pas attiré en H_2 ou en H' par son électro-aimant I ou *h'*. Les armatures H_2 et H' et les électros I

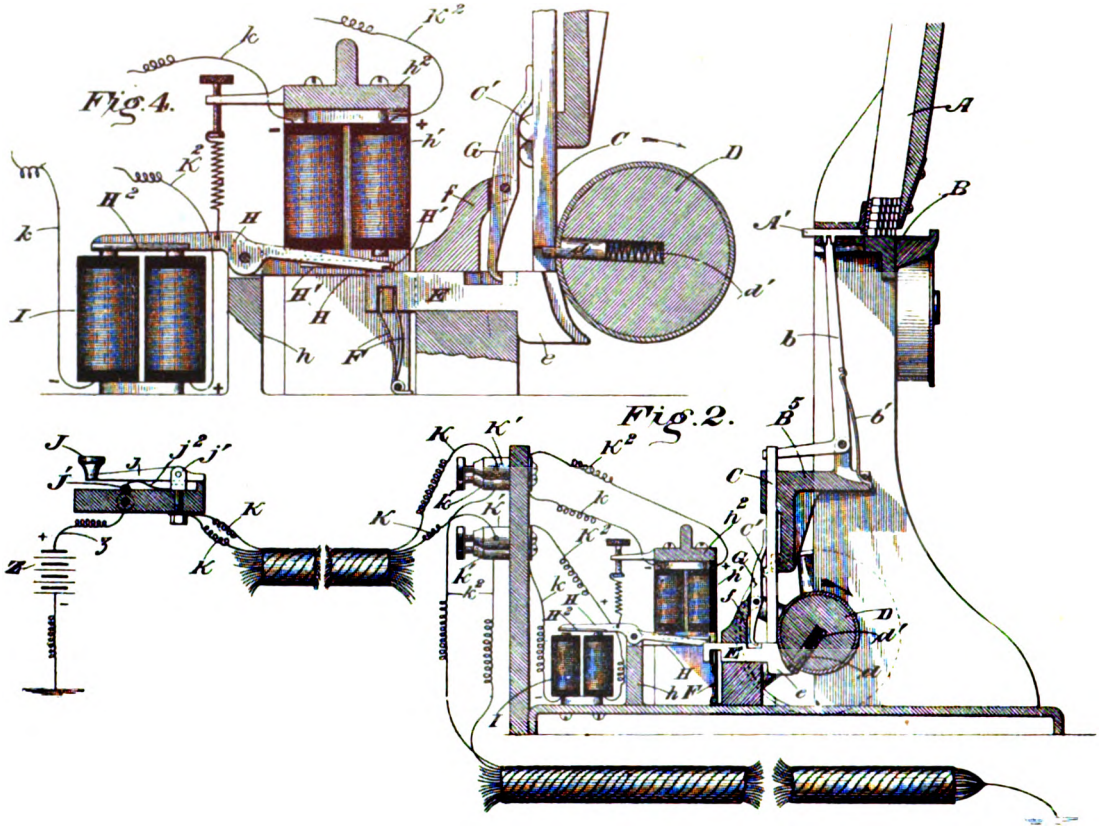


Fig. 37 et 38. — Télétypeuse électrique Cox. Détail d'un enclanchement du composteur et coupe du transmetteur et du récepteur.

et *h* : un pour chaque lettre, sont alternés de manière à en réduire le plus possible l'encombrement.

Le transmetteur se compose (fig 34) d'un clavier de touches J : autant que de lettres, à bras *j* (fig 38) pivotés sur *j'*, avec rappel, j_2. Chaque fois que l'on abaisse une touche, son bras *j* fait contact avec un barreau J', relié par *z* à la pile Z, et envoi, par son circuit K K' K_2, un courant dans l'électro-aimant H ou I correspondant du récepteur, lequel peut, par *k' k*$_2$, l'envoyer en même temps à une seconde machine à composer.

GUSTAVE RICHARD.

Digitized by Google

CALCUL ET CONSTRUCTION

DES MACHINES DYNAMOS

A COURANT CONTINU (1)

Collecteur. — Les liaisons entre les spires de l'induit et les différentes lames du collecteur se font au moyen de branches rayonnantes. Ces branches peuvent présenter une assez grande résistance sans qu'il en résulte d'inconvénient au point de vue de l'échauffement.

En effet, chacune des lames du collecteur passant très rapidement sous le balai, les branches de raccordement se trouvent en circuit pendant un temps extrêmement court, ne peuvent pas s'échauffer sensiblement. L'inconvénient serait seulement dans une légère augmentation de la résistance intérieure de la machine.

Il y a cependant aujourd'hui une tendance à faire plutôt minces ces branches de raccordement ; on en verra l'intérêt un peu plus loin.

La soudure qui réunit la branche de raccordement à la lame du collecteur a une importance pratique.

C'est une opération présentant de sérieuses difficultés, surtout lorsqu'il s'agit de grosses sections (cas de fils multiples en paquet ou de barres).

Pour être bien exécutée, la soudure doit pénétrer à cœur. Il faut donc chauffer fortement ; mais le cuivre, étant très bon conducteur de la chaleur, il peut en résulter une détérioration de l'isolant dans les parties voisines de la soudure. Aussi pour opérer avec plus de sûreté doit-on souder seulement par petits éléments.

De plus, une excellente précaution consiste à étamer d'avance les extrémités des fils. On facilite ainsi beaucoup la soudure ultérieure.

La bonne confection de la soudure a une grande importance et souvent une lame du collecteur se grave et s'attaque en particulier parce qu'une des soudures a été mal faite.

A l'origine, on employait exclusivement pour les barres du collecteur, le cuivre rouge. Il donne de bons résultats à condition, cependant, de présenter une dureté suffisante.

L'étirage en barres donne des lames dures écrouies, et qui conviennent bien.

On emploie aussi des alliages très riches en cuivre, qui peuvent se mouler. Avec du cuivre rouge pur, le moulage ne réussit pas. Quelquefois aussi on se sert de lames en bronze. L'inconvénient de cet alliage se manifeste lorsqu'on a à remettre en état un collecteur rayé ; car alors la dureté du bronze ne permet-

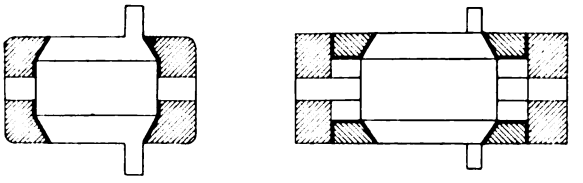


Fig. 21 et 22. — Montage des collecteurs.

tant pas de faire usage du papier de verre pour rendre au collecteur sa forme lisse, il faut absolument le retourner et par conséquent l'user ainsi plus vite qu'il ne conviendrait.

Les lames du collecteur sont montées sur un noyau et isolées entre elles. Dans les premières machines on employa à cet usage le mica. Cette substance constitue un excellent isolant, mais est trop coûteuse. Aussi lui a-t-on substitué le papier et le carton comprimé. C'est entre les bouts des lames et les chapeaux de fonte qui les maintiennent de part et d'autre (fig. 21 et 22) que les chances de contact sont les plus grandes. Aussi dans ces parties l'isolant doit-il être établi avec un soin particulier.

Souvent, dans les machines à haute tension, on interpose entre les chapeaux de serrage et les lames du collecteur un anneau isolé d'une part du collecteur et d'autre part des pièces qui exercent la compression.

Étincelles aux balais. — On sait que lorsqu'une machine dynamo débite, il faut avan-

(1) Conférence faite au Laboratoire central d'électricité le 28 mars 1895. Voir l'*Éclairage Électrique* du 20 avril et du 4 mai.

Digitized by Google

cer le calage des balais, par rapport à la ligne neutre, dans le sens du mouvement, pour éviter les étincelles.

Proposons-nous d'étudier ce qui se passe alors.

La figure 23 nous représente à un moment donné le balai B à cheval sur deux lames successives du collecteur (1) et (2)'. La spire *ab* se trouve donc de ce fait en court circuit sur le balai. Si elle est placée, à cet instant, rigoureusement dans le plan neutre, il ne peut s'y développer aucune force électromotrice ; et, par conséquent, s'il n'y a pas de courant utile

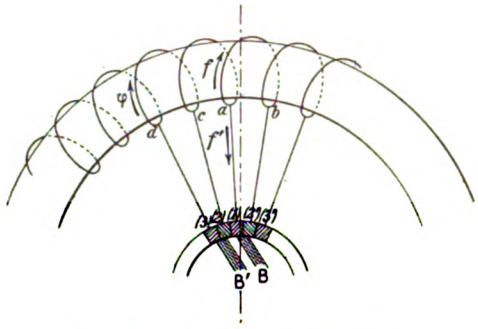


Fig. 23. — Spire en commutation.

dans la machine, lorsque la touche (1) échappe au balai il n'y a aucune production d'étincelle.

Mais si, au contraire, la machine débite à ce moment un courant égal à 2I, il y a dans les spires en tension de chaque côté de l'induit de part et d'autre de la ligne neutre un courant égal à I. Quand la lame (1) échappera au balai, ce courant arrivant en *a* rencontrera deux chemins pour se rendre au balai, l'un indiqué par la flèche *f* à travers la spire *ab*, l'autre indiqué par la flèche *f'* et constitué par la branche de raccordement.

Or, la spire *ab* présente, du fait de la self-induction, une notable opposition à l'établissement du courant ; et celui-ci rencontrant moins de résistance à son établissement dans le chemin *f'* franchit sous forme d'étincelle l'espace qui sépare la touche (1) du balai qui vient de la quitter.

En avançant les balais, on amène le plan de commutation dans une région où le fil coupe des lignes de force.

Au moment où la spire *cd* est en court circuit sur le balai B' par l'intermédiaire des touches (2) et (3), elle est le siège d'une force électromotrice y développant un courant induit précisément de même sens que celui de I allant au balai B'. Par conséquent, en réglant ce décalage de manière que ce courant induit pendant le court circuit soit exactement égal à I, au moment où la touche (3) échappera au balai, il n'y aura aucun trouble de régime. Il n'y aura aucune étincelle et le courant prendra naturellement le chemin indiqué par la flèche.

A ce propos, nous pouvons remarquer qu'il y aura avantage à augmenter la résistance de la branche de raccordement ; car plus le courant rencontrera de difficulté à s'y établir moins seront importantes les étincelles entre les balais et les touches du collecteur qui leur échappent.

Balais. — Malgré toutes les précautions prises en vue d'éviter les étincelles, il pourra s'en produire cependant par un changement de régime imprévu.

Il faut donc que les étincelles aient le moins possible d'action nuisible. Dans ce but il faudra faire en sorte de ne pas prendre la même substance pour les balais et le collecteur.

Pour les balais on emploiera : le laiton, le bronze d'aluminium, le maillechort. On évitera le cuivre rouge car il est susceptible de fondre en gouttelettes, qui sont du plus mauvais effet pour la bonne conservation du collecteur.

Depuis quelques années on fait un très grand usage des frotteurs en charbons.

Lorsqu'une étincelle vient à jaillir c'est sur eux que son effet destructeur s'exercera ; ils brûlent partiellement ; mais la gazéification des produits de la combustion absorbe beaucoup de chaleur. La température de l'étincelle se trouve considérablement abaissée ainsi que son effet sur les lames. Leur emploi présente cependant le petit inconvénient de donner un peu de poussière pouvant adhérer au collec-

Digitized by Google

teur ; et il se produit alors quelquefois de grandes flammes, mais d'une durée très courte, résultant de l'inflammation des poussières.

Cette inflammation n'a, d'ailleurs, aucune conséquence fâcheuse.

Il faut pour les balais des surfaces de contact suffisantes.

On doit prendre comme limites supérieures :

Avec les balais métalliques : 100 ampères par cm².

Et avec le charbon : 10 ampères par cm².

C'est là une condition difficile à réaliser pour les machines de grand débit, pour l'emploi des frotteurs en charbons.

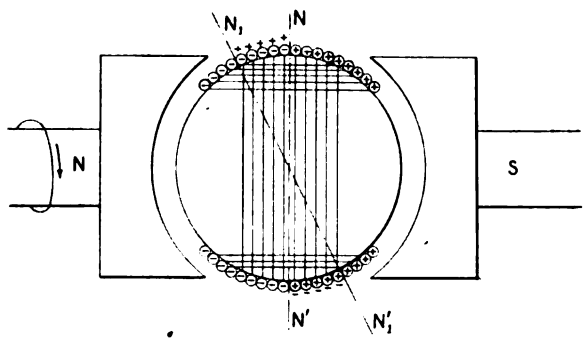


Fig. 24. — Réaction d'induit.

Effet de l'avance du calage. — Nous venons de voir que la cause de l'avance au calage était la nécessité de supprimer les étincelles.

Voyons maintenant ce qu'est : *la réaction d'induit* qui est la conséquence immédiate de cette avance.

Considérons l'induit à tambour représenté schématiquement par la figure 24. Figurons les fils et les signes + et — indiquent les sens respectifs des courants qui les traversent.

Or, rien ne sera changé si nous supposons des liaisons arbitraires entre les courants + et —

Si donc, la ligne neutre étant venue de NN' en N_1N_1' nous établissons les liaisons représentées sur la figure nous constatons que chaque fil se trouve bien avoir son fil de retour ; mais les spires fictives ainsi constituées sont les unes verticales, les autres horizontales.

Les liaisons verticales sont devenues nécessaires justement parce que nous avons avancé le plan de commutation.

Il est facile de voir que l'induit décomposé comme nous venons de le faire représente un doubie système magnétique : l'un horizontal sans action sur le circuit magnétique utile de la machine, l'autre au contraire vertical produisant des lignes de force dirigées en sens inverse des lignes de force créées par l'inducteur.

Le décalage introduit donc un solénoïde agissant en sens inverse du solénoïde inducteur ; cette avance des balais introduit ainsi des ampèretours négatifs.

La réaction d'induit n'est donc que l'effet magnétique opposé à celui des inducteurs et produit par le décalage en avant des balais.

Il faudra par conséquent compenser l'effet de ces ampèretours par un surcroît d'excitation.

On ne perdra pas de vue que ce n'est là qu'un mode simple d'exposition de la réaction d'induit. Le résultat réel du décalage est une torsion du champ magnétique total; et cette torsion introduit diverses complications de second ordre que nous négligeons ici.

On peut se demander s'il n'est pas possible de s'affranchir de ces ampèretours négatifs et de rendre ainsi les conditions de fonctionnement aussi stables que possible.

Il existe en effet un certain nombre de dispositions permettant d'obtenir ce résultat; mais qui, d'ailleurs, ont été fort peu employées jusqu'à présent

Un premier procédé consiste à compenser automatiquement les ampèretours négatifs.

On peut admettre que : d'une part, si on décale les balais, ce décalage est à peu près proportionnel à l'intensité du courant utile ; et d'autre part, que la relation entre le nombre d'ampèretours résultant de l'avance des balais et le décalage est aussi linéaire.

Alors la réaction d'induit précisément représentée par les ampèretours négatifs augmente sensiblement comme le courant principal, il est possible de la compenser à l'aide de ce même courant principal.

Digitized by Google

Une première disposition consiste dans l'emploi d'un cadre entourant l'induit et dans lequel le courant principal circule.

Un autre moyen consiste à établir des trous sur le bord de la pièce polaire et à y faire passer des fils formant un enroulement convenable également parcouru par le courant principal.

On peut aussi former à l'aide du courant principal deux petits électros-aimants supplémentaires placés de part et d'autre de l'induit; ceux-ci étant destinés à former des champs magnétiques locaux de plus en plus intenses et agissant sur la spire en commutation.

Le procédé Sayers consiste à se servir des

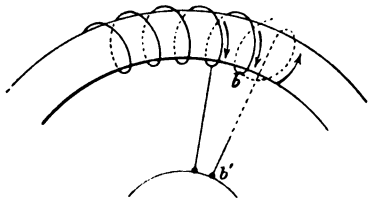


Fig. 25. — Disposition Sayers.

branches de raccordement pour obtenir le renversement du courant et combattre ainsi les étincelles et la réaction d'induit, les balais restant en arrière du calage neutre, mais fixes.

Pour cela on fait faire un tour de spire à la branche de raccordement *bb'* (fig. 25) en ayant soin de la rejeter d'une quantité convenable dans le champ magnétique, afin qu'une force électromotrice y prenne naissance.

On détermine ainsi le renversement du courant dans la spire en commutation. On peut alors agir suffisamment dans le sens convenable pour pouvoir caler les balais non en avant, mais en arrière. Les ampère tours de réaction d'induit deviennent alors positifs, et ont une action équivalente encore au double enroulement.

Le nombre de lames du collecteur est arbitraire à condition cependant d'être un sous-multiple de celui des spires.

On admet généralement qu'entre deux balais il faut un minimum de 8 à 12 lames sans quoi on s'expose à rencontrer de graves difficultés dans le fonctionnement des balais.

Ce nombre de lames n'a pas de limite supérieure, en tous cas il ne faut jamais dépasser entre deux lames successives une différence de potentiel de 30 à 35 volts sans quoi on risquerait de voir apparaître des arcs voltaïques permanents entre lames successives.

Ainsi une machine ayant une force électromotrice de 2 000 volts devrait avoir au moins 60 lames entre ses balais.

Inducteurs. — Quand il s'agit de choisir le métal constituant les inducteurs on peut hésiter entre le fer, la fonte et l'acier.

La fonte est beaucoup plus économique que le fer, mais beaucoup moins magnétique.

L'acier est assimilable au fer.

Il s'établit dès lors pour chaque machine une sorte de balance commerciale dans laquelle il faut aussi tenir compte de la quantité de cuivre employé.

Or avec les noyaux de fonte la longueur de la spire sera beaucoup plus considérable qu'avec le fer.

De plus, le centimètre de longueur du circuit magnétique en fonte coûtera plus cher à flux égal que celui du circuit magnétique en fer et de ce fait encore la dépense du cuivre se trouvera augmentée.

Par contre le fer est plus coûteux par unité de masse et exige une main-d'œuvre plus grande. L'acier est à peu près équivalent au fer. On peut aujourd'hui le fondre sur modèles; mais son prix est encore un peu élevé.

En somme il y a toujours un grand coefficient personnel dans l'étude d'une machine quelconque. Il faut surtout s'inspirer des besoins à satisfaire et approprier la dynamo aux conditions techniques et commerciales qu'elle aura à remplir.

R.-V. PICOU.
Ingénieur des Arts et Manufactures.

Digitized by Google

DISTRIBUTION MONOCYCLIQUE

DE STEINMETZ (1)

EXPOSÉ DE M. LOUIS BELL

M. L. Bell, après avoir rendu un juste hommage à la renaissance des courants alternatifs si longtemps délaissés, qui se manifeste depuis quelques années, reconnaît tout d'abord les services éminents que leur ont successivement rendus dans cette voie les transformateurs et les courants polyphasés. Ces derniers ont permis leur application à la transmission de la puissance motrice qu'on n'arrivait pas à réaliser sans difficultés, surtout au démarrage, même avec les faibles fréquences employées sur le Continent comparativement à celles de 120 à 130 périodes par seconde courantes en Amérique. Suivant lui, cependant, les courants polyphasés, tout en résolvant complètement le problème, ne sont pas sans entraîner certaines complications ; ils sont notamment coûteux comme première mise de fonds quand il s'agit de remplacer par ce nouveau système les vastes installations déjà existant aux Etats-Unis. C'est en conséquence à l'Amérique surtout que s'adresse son plaidoyer en faveur du système monocyclique qui permet l'application des moteurs polyphasés, avec tous leurs avantages, sur les installations à courants alternatifs ordinaires.

L'un des principaux attraits de cette communication, que nous analysons seulement, est le tableau comparatif (fig. 12) qu'a dressé l'auteur des divers systèmes employés et des quantités relatives de cuivre qu'ils exigent.

Le premier en date et en extension jusqu'ici est le système alternatif simple avec ses inconvénients connus de tous et son circuit à deux fils, dont le poids de cuivre est pris comme base de comparaison et coté 100.

Vient ensuite le circuit alternatif adapté à la distribution à trois fils d'Edison. Le poids de cuivre nécessaire est ici, comme on le sait, considérablement réduit, dans l'hypothèse d'un fil intermédiaire ayant une section inférieure de moitié à celle de chacun des deux autres fils. Ce poids n'atteint pas le tiers du précédent ; il est représenté par 31,25.

Mais aucun de ces deux systèmes ne se prête au fonctionnement facile des moteurs.

Un pas en avant, assurément considérable, est le système diphasé à quatre fils donnant, si on le désire, deux circuits distincts pour chaque machine. La quantité de cuivre employée est la même que dans le premier cas et, tant que les fils sont conservés on peut librement actionner des moteurs. Mais le fonctionnement de deux circuits distincts sur une seule machine comporte certaines complications. En effet, bien que les deux circuits ne réagissent pas l'un sur l'autre, comme ils partent tous deux de la même machine et que, pour une excitation donnée de cette machine, à moins que les pertes ne soient identiques sur les deux circuits, les différences de potentiel doivent nécessairement différer, le générateur ne peut pas être compoundé pour les deux circuits si ces circuits ne sont pas équilibrés. Il existe bien trois manières de tourner la difficulté ; mais malheureusement aucune d'elles n'est complètement indemne d'objections.

Une distribution diphasée un peu plus simple est celle indiquée dans le schéma suivant où les deux phases se réunissent dans un circuit commun à trois fils. La quantité de cuivre ici nécessaire diffère essentiellement suivant les limites de variation de différence de potentiel qu'on s'impose. Si la différence de potentiel maxima du système est limitée à la même valeur que celle employée avec le système ordinaire à deux fils ou le système diphasé à quatre fils, la quantité de cuivre requise est très considérablement augmentée par l'emploi du troisième fil, en raison de ce que les deux circuits combinés sont décalés d'un quart de période l'un par rapport à l'autre. Elle s'élève dans ce cas à 145,5. Mais si on laisse de côté la question de différence de potentiel maxima entre les fils et si celle-ci est régie par l'emploi des lampes de mêmes

(1) Voir l'*Eclairage Electrique* du 27 avril, p. 152.

Digitized by Google

constantes qu'avec les autres systèmes, le poids de cuivre requis tombe à un peu moins des trois quarts de ce qu'exigent les systèmes ci-dessus, soit à 72,8. On néglige ainsi le fait

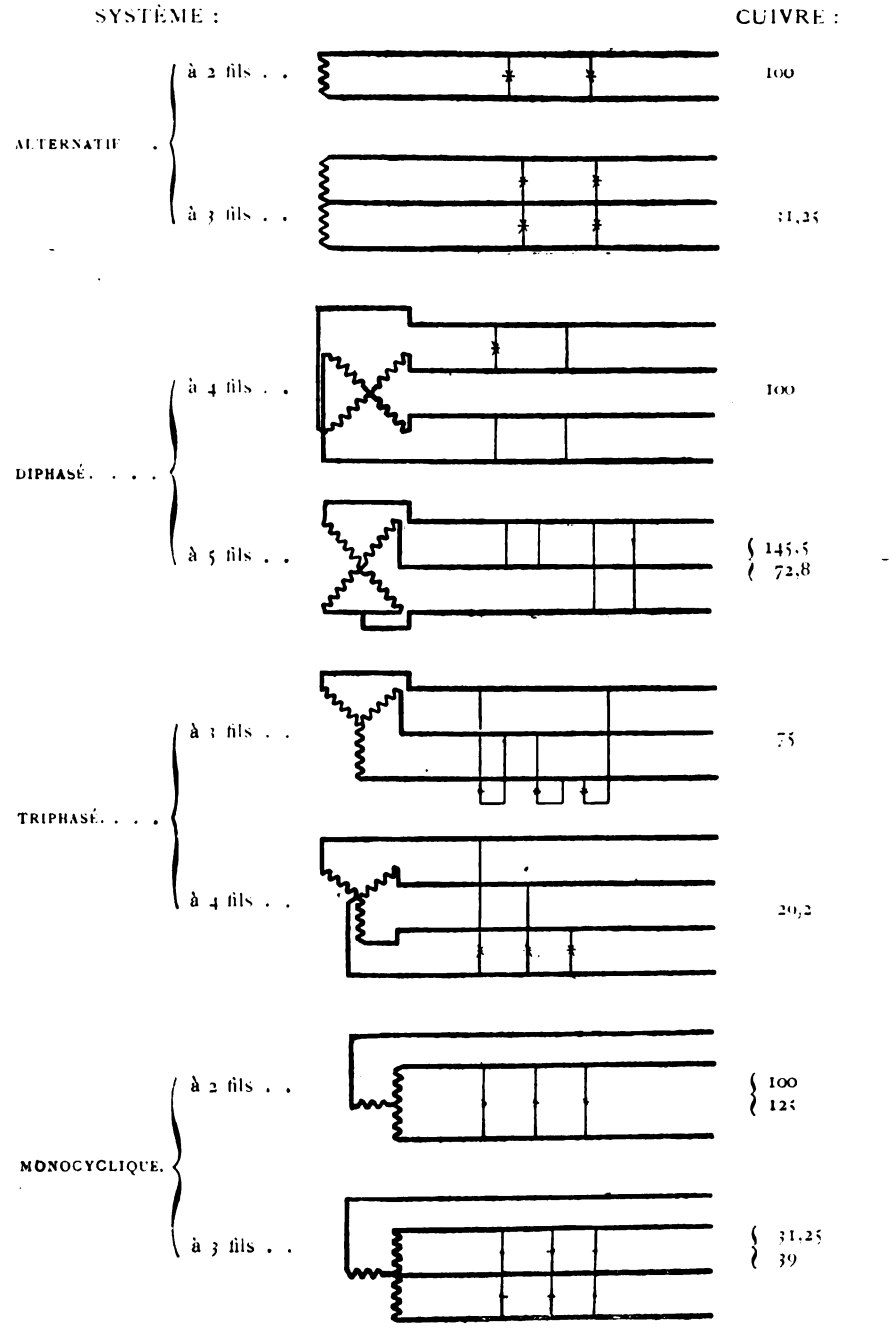


Fig. 12. — Tableau comparatif des poids de cuivre employés dans divers systèmes de distribution.

d'une différence de potentiel excessive entre les fils extérieurs, et les lampes sont reliées entre le fil médian et les deux fils extrêmes d'une façon très analogue au montage à trois

Digitized by Google

fils d'Edison, à cette exception près, naturellement, que l'économie de cuivre n'est pas la même. Ce système permet la distribution de la charge entière, foyers et force motrice, sur un circuit unique à trois fils. Il élimine en conséquence la difficulté de réglage de deux circuits distincts. Il donne lieu, d'autre part, à une nouvelle et très curieuse difficulté due à ce fait que les deux phases combinées sont dissymétriques en ce qui concerne la self-induction du système. Les différences de potentiel entre le fil médian et les deux fils extérieurs sont inégales quand les systèmes sont également chargés, et cette inégalité dépend de la perte par induction sur la ligne. Par suite, quand le système est équilibré pour la régulation, il est déséquilibré au point de vue de la charge des deux côtés, conditions qui, si elle peut ne pas être nuisible dans certains cas, menace toujours le bon fonctionnement du système, à moins d'une surveillance très attentive de la distribution. Il n'en résulte pas moins la possibilité d'une notable économie de cuivre.

M. Bell arrive ensuite au système alternatif triphasé en laissant de côté celui qui correspond au système diphasé à trois fils dans lequel l'emploi de trois circuits séparés est encore plus compliqué que celui de deux circuits, sans aucun avantage en retour. Le circuit ordinaire triphasé est celui que représente la cinquième figure. Les trois phases y sont réunies sur trois fils et empruntées partout où doivent être installés des foyers et des moteurs. Dans ce cas, pour la même différence de potentiel entre fils, la quantité de cuivre exigée est exactement les trois-quarts de celle nécessaire avec le circuit simple à deux fils ou le circuit diphasé à quatre fils, soit 75. En compensation il y a possibilité d'inégales différences de potentiel dans le cas où les trois éléments du circuit sont inégalement chargés, par suite de la réaction mutuelle des transformateurs et du générateur. En ce qui concerne la self-induction sur la ligne, le système est symétrique et équilibré.

Si la charge sur les trois branches est très inégale, comme, par exemple, si l'une d'elles est complètement déchargée ou très légèrement chargée, tandis que les deux autres travaillent à pleine charge, il y a un défaut d'équilibre appréciable de différence de potentiel. Pratiquement cependant il suffit d'apporter à la compensation le même soin qu'avec le système à trois fils d'Edison pour que cette difficulté théorique de compensation soit absolument négligeable. On pourrait, à première vue, espérer obtenir de bons résultats par la combinaison du système di ou triphasé avec la distribution à trois fils d'Edison. En fait un montage de ce genre serait d'une extrême complication en ce qu'il exigerait des systèmes à deux ou trois fils individuellement et mutuellement équilibrés.

Il existe cependant un système triphasé qui assure une très grande économie de cuivre ; c'est celui à quatre fils indiqué par la sixième figure. Il comporte les trois fils ordinaires employés dans le système triphasé, avec addition d'un fil de compensation partant de la connexion commune du générateur ou du transformateur et faisant partie du système général de distribution. Les foyers sont, comme on peut le voir sur le diagramme, reliés à l'un quelconque des fils triphasés et au fil de compensation. Entre chacun des deux fils extérieurs on a donc en quelque sorte deux lampes en série décalées cependant d'un tiers de période, et la différence de potentiel de transmission entre chacun des trois fils principaux est 1,73 fois celle exigée par la lampe alimentée, sensiblement 200 volts pour des lampes de 110 volts. Il en résulte nécessairement dans l'emploi du cuivre une grande économie encore augmentée du fait que le système triphasé à trois fils n'exige par lui-même que 75 p. 100 du cuivre employé avec les courants alternatifs ordinaires. Le résultat net se chiffre, pour ce montage particulier à 29,2 p. 100 seulement du cuivre exigé dans ce dernier cas, étant admis, comme pour la distribution à trois fils d'Edison, que le fil neutre a une section inférieure de moitié à celle des autres. Cet avantage se paie par l'introduction du quatrième fil dans le système de distribution.

Digitized by Google

Si l'on compare les distributions d'éclairage par les systèmes di et triphasés, on voit donc que, avec trois fils seulement, on économise très sensiblement dans les deux cas la même quantité de cuivre. La différence de potentiel extrême entre fils est toutefois notablement plus grande dans le système diphasé, et les deux montages sont susceptibles, bien qu'à des degrés différents, de se déséquilibrer,

Ils présentent néanmoins cette différence que, si l'on veut équilibrer un système triphasé en ce qui concerne la différence de potentiel, on n'a qu'à répartir également la charge entre les trois branches. Si l'on veut en faire autant pour un système diphasé à trois fils, il ne faut pas perdre de vue que cette charge est inégalement répartie entre les trois branches, cette inégalité dépendant de la self-induction de la ligne. On voit, en conséquence, par comparaison entre le système polyphasé et le système ordinaire, que le prix auquel on achète le privilège d'actionner aisément des moteurs est une certaine complication des circuits, complication qui, si elle est sans grande importance dans les installations neuves, est un obstacle à la facile adaptation d'un système polyphasé à un circuit sur lequel sont déjà montés un grand nombre de circuits.

Si attrayant que soit le courant alternatif ordinaire dans sa simplicité de canalisation, on ne peut cependant pas y insérer des moteurs fonctionnant à pleine satisfaction. C'est pour remédier à cet inconvénient, si capital pour les installations déjà existantes, qu'a été imaginé le système monocyclique.

Dans sa forme la plus simple à deux fils, il est absolument identique, en ce qui concerne l'éclairage, à l'un quelconque des systèmes alternatifs actuellement installés ; il offre les mêmes avantages. L'induit d'une machine monocyclique comporte cependant une bobine additionnelle, que le diagramme (fig. 13) représente reliée au milieu de l'enroulement principal, et d'où l'on peut faire partir un troisième fil. Ce fil n'exige qu'une faible section, et n'a besoin d'être conduit qu'aux points du réseau où il s'agit de faire fonctionner des moteurs. Il permet d'ailleurs d'actionner des moteurs ayant les mêmes caractéristiques que celles cherchées pour les moteurs polyphasés et généralement identiques à ces derniers, et ce, sans troubler en rien la distribution de l'éclairage sauf en ce qui dépend de la loi d'Ohm qui limite nécessairement toute combinaison de circuits d'éclairage et de puissance. Dans le dernier schéma ci-contre on voit le même montage appliqué à un système Edison à trois fils pour distribution d'éclairage ; le même fil additionnel insignifiant qui le longe permet le parfait fonctionnement de moteurs. L'avantage du montage à trois fils dans la distribution de la lumière est évident, la quantité de cuivre nécessaire étant la même, à différence de potentiel égale, que dans le système Edison. Avec ce système monocyclique on peut compounder les générateurs pour une perte raisonnable quelconque sur la ligne, et disposer le réseau d'éclairage sans risque de se heurter à aucune question gênante d'équilibre, de manière à assurer une aussi bonne régulation qu'avec une distribution à courant continu. Ce système possède en outre l'avantage de permettre d'actionner des moteurs.

Il est intéressant de jeter un coup d'œil sur ce tableau de systèmes d'éclairage par courants alternatifs et de comparer leurs complications et leurs avantages. Il convient tout d'abord de remarquer que tout mode de distribution qui économise du cuivre introduit sous une forme ou sous une autre la question d'équilibre ; c'est le prix de la réduction des conducteurs. Cette question n'a cependant pas empêché l'emploi du système Edison à trois fils, et, en fait, ce sont ceux auxquels il est le plus familier qui ont été les premiers à faire peu de cas de cet inconvénient. Ce n'est pas non plus une sérieuse objection à l'application des systèmes polyphasés là où leur emploi est indiqué, aucun d'eux n'étant plus délicat, au point de vue de l'équilibre, que le système à trois fils, aujourd'hui si répandu avec tant de succès. On peut remarquer, en outre, que tout système alternatif qui réalise une grande économie de cuivre exige un qua-

Digitized by Google

trième fil, de faible section, il est vrai, tout au moins quand il s'agit d'éclairage et de moteurs.

Les schémas indiquent suffisamment le principe général du système. En ce qui touche le fonctionnement principal du générateur, son enroulement est tout à fait analogue à celui d'un alternateur quelconque bien étudié. L'induit est du type cuirassé, et les bobines en

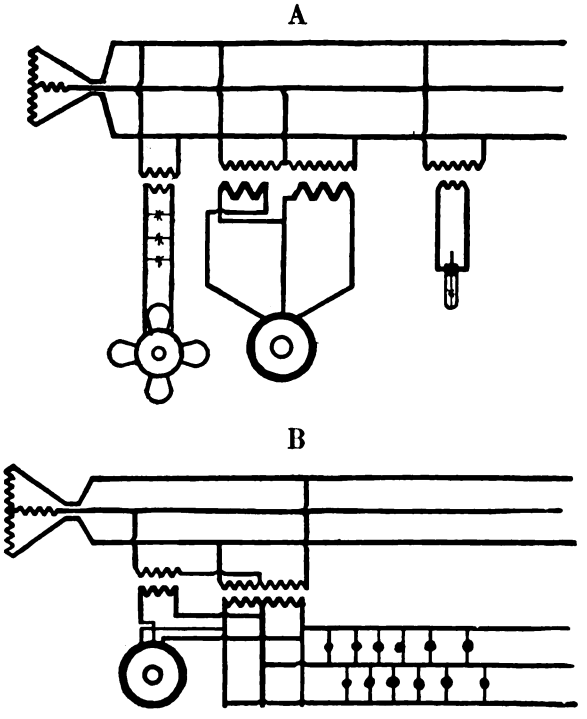


Fig. 13.
A, système monocyclique à 2 fils: B, système monocyclique à 3 fils.

sont faites à la machine; elles sont soigneusement et régulièrement isolées et se mettent facilement en place. Cet induit comporte cependant un second jeu de bobines de section droite équivalente à celle des précédentes, mais composées d'un nombre de spires relativement faible, de sorte qu'elles prennent peu de place sur l'induit, et, grâce à l'étroitesse des rainures nécessaires au montage de cette bobine auxiliaire, la puissance de la machine, en tant que générateur ordinaire, n'en est pas affectée. Cette bobine est montée, par rapport à la bobine principale, comme l'indique le diagramme. Sa position sur l'induit est intermédiaire par rapport aux autres bobines, et la f. é. m. qu'elle développe est normale à celle créée dans la bobine principale. Il est alors évident que, si l'on relie la borne de cette nouvelle bobine supplémentaire à l'une ou l'autre des bornes de la bobine principale, on obtiendra une f. é. m. résultante ayant pour composantes les deux f. é. m. créées et dirigée suivant un sens intermédiaire. D'une manière générale, en faisant varier les proportions des deux bobines, et par suite, leurs f. é. m., on pourra obtenir entre leurs bornes une f. é. m. résultante décalée d'une fraction quelconque de période par rapport à la bobine principale ou à la bobine supplémentaire. Si donc, on relie des fils de ligne aux bornes de la bobine principale et de la bobine supplémentaire, on pourra obtenir de la ligne principale trois f. é. m. dont deux seront situées symétriquement relativement à celle fournie par la bobine supplémentaire, et leur donner avec elle telle relation de phase que l'on voudra. Une des dispositions les plus commodes et le plus généralement adoptées implique entre la force électromotrice de la bobine supplémentaire et celle des bobines principales une relation telle qu'on ait sur la ligne trois f. é. m. décalées sensiblement d'un sixième de période l'une par rapport à l'autre. En d'autres termes, les f. é. m. résultantes entre les bobines supplémentaires et principales sont décalées chacune d'un sixième de période avec celle de la bobine supplémentaire. Cette disposition est indiquée dans le diagramme. Dans ces conditions, il est clair que, si l'une de ces f. é. m. est renversée, soit dans des transformateurs, soit ailleurs, dans les circuits d'utilisation, on aura comme résultat trois f. é. m. décalées d'un tiers de période, l'une d'elles ayant tourné d'une demi-période. Néanmoins, la relation entre le fil des moteurs, qui est relié à la bobine supplémentaire, et le fil extérieur n'a aucune action sur la f. é. m. entre ces fils extérieurs, puisque la f. é. m. de la bobine principale elle-même ne réagit

Digitized by Google

pas sur le fil des moteurs, si ce n'est en ce qu'une portion de celle-ci peut agir avec le fil des moteurs pour former une phase résultante, et une f. é. m. pour l'entraînement des moteurs. Par suite, en ce qui concerne l'éclairage, les deux fils extérieurs se comportent exactement comme les conducteurs d'un alternateur quelconque, tandis que, au point de vue des moteurs, on est à même d'avoir les trois f. é. m. décalées d'un tiers de période, et d'arriver en conséquence au même résultat magnétique qu'avec un système triphasé. Le montage de l'éclairage et des moteurs avec cette disposition est clairement indiqué sur le diagramme. Il est évident qu'on peut prendre sur les fils extérieurs du système monocyclique soit des foyers à arc, soit des lampes à incandescence en un point quelconque et en proportion quelconque dans les limites de la puissance de la machine, en fonctionnant à volonté pour les lampes à incandescence sur une distribution à deux ou à trois fils. Pour un moteur, on relie en un point choisi quelconque deux transformateurs entre le fil de moteurs d'une part et chacun des fils extérieurs de l'autre. En ce point, les phases résultantes entrent en jeu et le renversement nécessaire de l'une des f. é. m. est effectué très simplement et très naturellement par le renversement de l'un des secondaires, comme l'indique le schéma. Le circuit secondaire ainsi constitué peut être relié à un moteur d'induction qui démarrera et fonctionnera aussi bien qué s'il était relié à un système ordinaire triphasé. Au lieu de renverser l'un des secondaires des transformateurs on peut réaliser le même renversement virtuel de la f. é. m. en renversant une des bobines dans le moteur lui-même. On a ainsi un système qui, au point de vue de l'éclairage, est simplement un système à courants alternatifs, et, au point de vue des moteurs, équivalent à un système polyphasé.

Avec une transformation faite dans une proportion différente on peut, si l'on veut, obtenir sur les circuits secondaires deux f. é. m. décalées d'un quart de période et actionner alors des moteurs diphasés au lieu de moteurs triphasés, s'il y a un intérêt quelconque à fonctionner dans ces conditions. Cette disposition est cependant moins indiquée que celle d'un système quasi-triphasé par la raison que, sans gagner quoi que ce soit dans les moteurs, on a à développer une plus grande f. é. m. dans la bobine supplémentaire, et par suite à lui faire occuper sur l'induit plus de place, peut-être même assez de place pour influer sur la puissance de la machine considérée comme alternateur ordinaire.

Il est facile de voir que cette manière de procéder n'est pas la seule. Ainsi le dernier diagramme donne un montage un peu différent aboutissant exactement au même résultat. L'objectif est ici de fonctionner sur des conducteurs secondaires montés suivant le système à trois fils, et en même temps d'actionner des moteurs installés en un point donné quelconque. On dispose alors un grand transformateur dont le secondaire est monté dans le système à trois fils et dont les conducteurs secondaires sont distribués d'une manière quelconque. Un second transformateur plus petit, proportionné à la puissance que doit développer le moteur, est relié, comme l'indique le schéma, et le fil de moteur qui en vient est pris sur la totalité ou sur une partie du système à trois fils. La disposition est analogue à celle des bobines génératrices elles-mêmes et elle a pour résultat de permettre de faire fonctionner un moteur d'induction en le reliant en un point quelconque du système à trois fils aux deux fils intérieurs et au fil de moteurs. Un montage de cette nature convient éminemment à la distribution de la puissance mécanique et de la lumière dans les villes où, par exemple, on veut installer un réseau étendu de conducteurs secondaires par tubes Edison ou autre mode de distribution souterraine appropriée.

Il est en outre intéressant de voir qu'on n'est pas limité à l'emploi de moteurs d'induction di ou triphasés; un générateur monocyclique relié au circuit primaire donne en effet une

Digitized by Google

excellente vitesse synchrone sans l'aide d'un moteur de démarrage, et est dans ce cas de beaucoup supérieur à la simple machine synchrone. On peut cependant se demander ce qu'il advient alors du fil de moteurs? Dans le cas, par exemple, d'une transmission à grande distance avant l'arrivée au point de distribution, le fil de moteurs doit-il faire partie du système de transmission? Pour toute réponse à cet égard, il suffit de bien se pénétrer de ce fait que le caractère essentiel du système monocyclique, en ce qui concerne les moteurs, est le développement d'une f. é. m. qui ait avec le système la même relation de phase que celle développée par la bobine supplémentaire du générateur. En conséquence, dans le cas d'un transport, les générateurs principaux à la station éloignée peuvent être de simples alternateurs ordinaires, la f. é. m. subsidiaire étant fournie par un moteur synchrone ou autre disposition analogue en un point quelconque du système. On peut ainsi avoir aisément une transmission à distance comportant dans la sous-station une machine monocyclique de la dimension voulue pour fournir le courant aux moteurs appelés à fonctionner sur le système. Le fil de moteurs ne partira dès lors que de la sous-station.

Le système monocyclique présente une autre particularité intéressante et qui n'est pas sans importance dans le cas d'une distribution de puissance sur une grande étendue. Dans les conditions ordinaires les moteurs d'induction et les moteurs synchrones sont enroulés de telle sorte que la f. c. é. m. agit sur le système d'une façon parfaitement symétrique, et que le courant circule dans tous les fils avec un certain degré de symétrie suivant les exigences des moteurs en circuit. On a cependant l'habitude, dans le système monocyclique d'employer des moteurs enroulés de manière à lancer dans le fil des moteurs une f. c. é. m. élevée quand le moteur est à sa vitesse et en charge, ce qui réduit le courant normal porté par le fil des moteurs à une valeur purement nominale, et ce résultat peut être évidemment atteint sans grand sacrifice au point de vue du démarrage, attendu que, au démarrage, toutes les f. c. é. m. dans les moteurs sont nulles. On a ainsi un système de moteurs d'un type réellement particulier du système monocyclique, en ce que chacun d'eux démarrera dans les mêmes conditions de f. é. m. qu'un moteur polyphasé, tandis que, une fois lancé et chargé, il fonctionnera virtuellement comme un alternateur ordinaire. Si cependant il était surchargé de manière à tendre à se ralentir ou à s'arrêter, le fil de moteurs laisserait passer assez d'énergie pour le ramener à sa vitesse, exactement comme avec une machine polyphasée. Ce n'est là qu'un des côtés intéressants du système développé en vue de réaliser certaines conditions particulières.

Les connexions indiquées dans les diagrammes sont celles qui sont le plus directement applicables et probablement celles qui seront le plus directement employées dans le service des stations centrales. Il est dès lors rationnel de se demander quels sont les inconvénients de ce système? Il assure évidemment des avantages très marqués par son aptitude à faire fonctionner des éclairages sur des circuits existants ou avec le mode le plus simple de distribution, et en même temps à actionner en un point quelconque du système des moteurs synchrones ou d'induction de types bien éprouvés et courants. Il est facile de répondre à la question qui en fait est presque évidente. Le prix auquel se paie cet avantage est l'installation du fil des moteurs, qui nécessairement ajoute quelque chose au poids du cuivre employé et complique un peu l'installation. Dans toutes les conditions ordinaires le fil des moteurs n'exige qu'une faible section transversale comparativement aux autres, étant donné que, en règle générale, la puissance demandée à la station centrale pour le fonctionnement des moteurs est faible relativement à la capacité totale de la station; il est de plus digne de remarque que les moteurs monocycliques, synchrones ou à induction, fonctionnent parfaitement bien si l'on déconnecte le fil spécial quand le moteur a

Digitized by Google

atteint sa vitesse; ils marchent alors comme des alternateurs ordinaires. Il est naturellement bien connu qu'un moteur synchrone ordinaire donne d'admirables résultats et il est également vrai qu'un moteur ordinaire d'induction peut être construit dans les meilleures conditions de rendement et autres propriétés électriques. La seule difficulté matérielle dans ce cas est d'obtenir un couple suffisant pour le démarrage du moteur. C'est ce que permet de réaliser la connexion monocyclique. Une fois le moteur lancé à sa vitesse de régime le fil spécial n'est plus nécessaire au bon fonctionnement, de sorte que, malgré la nécessité de sa présence, on voit de suite que la quantité de cuivre supplémentaire ne jette pas la moindre perturbation dans l'exploitation de la station centrale. Il ne sera presque jamais nécessaire d'installer un fil spécial de section supérieure au quart de la section totale des autres fils, comme l'indique le diagramme, et généralement il suffira d'un fil beaucoup plus faible.

Un grand nombre de ces générateurs monocycliques sont en usage quotidien dans les stations centrales américaines; ils fonctionnent pour la plupart sur des circuits déjà installés et remplacent les alternateurs de plus grande fréquence antérieurement employés. Les résultats obtenus sont excellents et le fonctionnement des moteurs, partout où ils ont été introduits dans le système donne pleine satisfaction.

(*A suivre.*) E. BOISTEL.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Tramways à contrepoids pour l'ascension des rampes.

Les tramways électriques, comme tous les systèmes où la traction ne se fait que par l'adhérence des roues sur les rails, perdent rapidement leurs avantages lorsque les rampes de la voie deviennent trop prononcées, c'est-à-dire, atteignent ou dépassent 12 p. 100; le tramway ne peut les remonter, malgré d'abondantes projections de sable sous les roues. C'est un grave inconvénient. Lorsqu'une pente importante, même de faible longueur, se rencontre sur le tracé de la ligne, on est obligé d'adopter une disposition spéciale coûteuse qui est souvent une cause de pertes pour la Compagnie. C'est ainsi qu'à Barmen, avec une pente de 18 1/2 p. 100 on a dû adopter un tramway à crémaillère, ce qui n'est pas toujours praticable sur une route ordinaire. Dans la plupart des cas on est obligé de recourir à la traction funiculaire. C'est ainsi que dans la ville de Providence (Rhode-Island, U. S. A.) la ligne de College Hill était desservie par un tramway à câble, bien que toutes les autres lignes exploitées par la même Compagnie fussent à trolley, en raison des pentes qu'on y rencontrait et qui, sur une longueur d'environ 215 mètres, variaient entre 7 1/2 et 15 p. 100, comme le représente le profil de la voie que nous publions en figure 2. La traction funiculaire coûtait fort cher à la Compagnie et la ligne de College Hill était une source de pertes. La traction funiculaire y a été récemment remplacée par un système à contrepoids qui a donné toute satisfaction et sur lequel nous croyons intéressant d'insister, car il peut rendre, dans bien des cas, de réels services.

Des installations à peu près semblables existent déjà depuis deux ans environ sur les lignes de Washington Street, à Seattle, et de Front Street, à Portland, dans l'état d'Orégon. Elles ont, toutes les trois, été installées sous la direction de M. J.-P.-E. Kuhlmann.

Le principe est d'employer un contrepoids, roulant dans une conduite souterraine, et relié à un câble sans fin passant, en haut et en bas, sur des poulies. Si le contrepoids est au sommet de la côte, une voiture montante saisira le câble au moyen d'un grip et sera assistée dans sa montée par la descente du poids. La voiture suivante qui descend la côte, saisit le même câble et remonte le contre-

Digitized by Google

poids qui se trouve prêt à servir pour aider la voiture montante qui viendra ensuite. On voit que, dans ce système, les voitures doivent se succéder dans un ordre régulier, une voiture descendante devant succéder à une voiture montante et *vice versa*. L'effort nécessaire pour vaincre l'action de la pesanteur est contre-balancé par la pesanteur elle-même, c'est-à-dire dans des conditions aussi économiques que possible.

A Providence, l'installation fut particulièrement difficile, en raison de ce fait que le sys-

Fig. 1. — Section de la voie, montrant les conduites de l'ancien câble et du contrepoids.

tème funiculaire devait être maintenu en service jusqu'au moment où le système à contrepoids serait lui-même prêt à le remplacer. On commença par tendre le fil du trolley au-dessus d'une des voies de la ligne à câble, puis on creusa de l'autre côté de la rue et parallèlement à la voie un caniveau fermé, armé de bois, dont les dimensions intérieures sont de 38 × 96 cm. (fig. 1). Les contrepoids, au nombre de deux sont disposés dans ce caniveau (fig. 2); ce sont des blocs de fer, pesant ensemble 5 1/2 tonnes; ils sont montés sur des roues de 25 cm. de diamètre qui roulent sur des rails.

Deux tampons à air ont été disposés au bas de la côte pour éviter l'action destructive qui aurait pu être causée par l'arrêt brusque des contrepoids. Ces tampons se composent chacun d'un tube en fer de 20 cm. de diamètre, long de 1,80 m., muni d'une boîte à étoupes dans laquelle se meut un tube de 17,5 cm. de diamètre formant piston. Ce dernier tube est

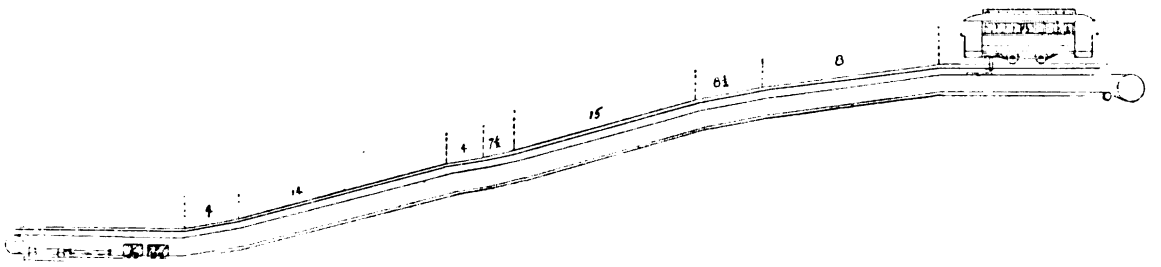


Fig. 2. — Profil de la voie, indiquant les pentes et le mécanisme.

muni d'un pas de vis à son extrémité extérieure; le premier est muni d'une valve d'échappement de 7,5 cm., et d'un robinet à air de 2 cm. Le piston porte à son extrémité extérieure un épaulement qui vient s'engager dans un loquet à ressort placé à l'arrière du contrepoids. Quand le contrepoids descend, il rencontre la tige du piston qu'il pousse; l'air comprimé offre une résistance suffisante pour amortir le choc et pour assurer la liaison entre l'épaulement du piston et le loquet du contrepoids. L'air s'échappe lentement par la valve et le robinet, et lorsque le contrepoids s'élève ensuite, le piston est tiré sans résistance jusqu'à ce que, à bout de course, le loquetage se désengage, laissant le tampon prêt à servir encore lors de la descente suivante du poids.

Les connexions entre la voiture et le câble se font d'une façon très simple, au moyen d'un

Digitized by Google

bras relié au câble d'une façon permanente et qui vient affleurer légèrement au-dessus du sol, dans la fente de la conduite; la voiture est munie à l'arrière d'un dispositif spécial qui vient s'engager automatiquement dans l'extrémité de ce bras; le mécanicien peut faire cesser la liaison, à l'extrémité de la côte, en manœuvrant seulement un levier.

Les voitures pèsent environ 6 1/2 tonnes à vide; les départs ont lieu, dans les deux directions, toutes les 5 minutes; il passe donc une voiture, soit montante, soit descendante, toutes les 2 1/2 minutes. Les cars remontent facilement la rampe avec une vitesse égale à celle qu'on atteint sur une rampe de 4 p. 100, le contrôleur étant placé sur la sixième combinaison. La descente exige l'emploi des moteurs; le contrôleur est alors placé sur la seconde combinaison; toutefois, lorsque le nombre de voyageurs est grand, la descente se fait seulement par l'action de la pesanteur, en appliquant les freins.

A Seattle, les pentes sur Washington Street, entre les rues transversales, sont de 11, 14 et 16 p. 100, chacune pour une longueur de 160 mètres environ. A Portland, les pentes sont de 12 et 14 p. 100 sur une longueur totale de 150 mètres environ.

L'entretien de ces installations est à peu près nul et les avantages du système sont évidents : possibilité de remonter des rampes quelconques, avec une faible consommation de puissance et en conservant à l'ensemble de l'installation un caractère d'unité des plus favorables à un bon rendement.

Ajoutons, pour terminer que, d'après le *Street Railway journal*, auquel nous avons emprunté les renseignements précédents, le bras de connexion avec le câble, frottant contre la fente de la conduite, forme un excellent retour pour le courant, en réalité, il ne passe qu'un courant très faible ou nul par les roues et les rails qui sont toujours fortement sablés, tant que la connexion est établie avec le câble.

G. P.

Singulier phénomène électrolytique.

M. C.-J. Reed a fait dernièrement à une séance de la Section électrique de l'Institut Franklin la très curieuse communication suivante que nous empruntons à notre confrère américain *The Electrical Engineer*.

La plupart des métaux, employés comme anodes en électrolyse, se dissolvent ou se corrodent en produisant des sels ou des oxydes; employés au contraire comme cathodes, ils ne sont généralement pas attaqués, ils sont rarement altérés d'une façon quelconque par le passage du courant et ne se dissolvent jamais. Un fait qui semble être une exception à cette règle mérite d'être signalé.

Lors de recherches récentes relatives à l'action oxydante de divers électrolytes sur des électrodes de plomb, l'auteur remarqua accidentellement que, dans certaines conditions, le plomb se comporte d'une façon très singulière vis-à-vis de certains électrolytes. Ces seules conditions sont que la f. é. m. et la densité du courant soient très élevées.

En faisant passer un courant électrique à travers une solution de phosphate de soude hydraté, entre des électrodes de plomb, M. Reed ne remarqua rien d'anormal pendant l'expérience. La solution avait une très grande résistance et le courant avait une très faible intensité même sous une f. é. m. élevée. A la fin de l'expérience, comme il n'y avait pas d'interrupteur dans le circuit, il rompit le courant en retirant de la solution une des électrodes; c'était par hasard la cathode. Au moment où la partie inférieure de la feuille de plomb cessa de toucher l'électrolyte, il vit apparaître dans le liquide un nuage tumeux noirâtre ou précipité qui s'était subitement formé dans la solution. En examinant ce nuage plus attentivement et répétant plusieurs fois l'expérience, il reconnut que, si l'on soumet à l'action de la solution une très petite surface seulement de l'électrode négative, il se forme un nuage volumineux d'un précipité bleu foncé ou couleur de plomb, qui se répand rapidement dans la solution et la rend tout à fait opaque.

Digitized by Google

Dans ces conditions la cathode de plomb se ronge rapidement et le précipité se forme aux dépens du plomb. Ce précipité fut recueilli sur un filtre, lavé à l'eau et à l'alcool, puis séché. On trouva alors une poudre impalpable ressemblant à du plomb et ne s'altérant pas à l'air aux températures ordinaires. Porphyrisé dans un mortier d'agate, il se réduisit en une masse gommeuse et terne, sans apparence métallique. Chauffé jusqu'au point de fusion du plomb à l'air libre, il absorba brusquement de l'oxygène et forma, avec incandescence, un oxyde jaune de plomb. Chauffé dans un tube de verre à l'abri de l'air, il se prit en un globule d'aspect métallique. Un échantillon de ce produit conservé depuis plus de deux ans ne présente aucune modification apparente.

Après l'expérience, la cathode de plomb présentait un aspect particulier. Réduite à un point à son extrémité, elle offrait une surface unie, brillante, analogue à du plomb poli, telle que celle d'une anode de cuivre ou autre métal soluble.

L'auteur essaya d'autres électrolytes et trouva que le précipité plombeux pouvait se produire dans certaines solutions et non dans d'autres.

Il ne se forme pas dans des solutions de sels métalliques dont un métal peut être déposé par électrolyse. On ne l'obtient pas non plus avec les acides énergiques qui ont une grande affinité pour le plomb. Dans l'oxalate d'ammoniaque et avec une anode en platine, il s'est formé sur le fil de platine un dépôt ressemblant à du peroxyde de plomb, bien qu'aucune trace de ce métal n'existât originairement dans la solution. Lors d'une expérience plus récente il fut impossible de reproduire ce résultat.

Des essais analogues ont été tentés avec des électrodes négatives en fer, en zinc, cobalt, nickel, manganèse, magnésium, aluminium, cuivre, cadmium, argent, or, platine, bismuth, arsenic, antimoine et étain. Parmi eux l'arsenic seul présenta quelque chose d'analogue au plomb ; il se détruisit rapidement comme cathode. La surface du métal où se manifestait cette action était lisse, brillante, adoucie ; elle semblait polie. Il se forma une pellicule d'hydrure d'arsenic solide, brun, qui, au lieu de se précipiter dans la solution, flottait à la surface en formant des lignes droites s'éloignant de l'électrode. Cet hydrure a également été obtenu électrolytiquement par Sir Humphry Davy. Avec des électrodes de plomb, dans une solution de phosphate de soude, il se formait, en même temps que le précipité de plomb, de l'hydrogène phosphoré. Avec des électrodes de borax et de plomb, le précipité plombeux se produisait très rapidement et, quand on maintenait l'électrode négative près de la paroi latérale du vase de verre, on voyait se former d'une manière continue à la surface de l'électrode une couche de liquide brillante d'un brun rouge. Elle disparaissait presque instantanément quand on l'éloignait de l'électrode, mais se formait sans interruption tant que le courant était assez intense pour produire le précipité plombeux. Une addition d'acide acétique n'en empêchait pas la formation.

Le thiosulfate de soude donnait un dépôt de soufre au pôle positif, ce qui confirme la théorie que, dans les thiosulfates, un atome de soufre est électronégatif et remplace un atome d'oxygène dans les sulfates. Le sulfite de soude donnait lieu à la libération de bioxyde de soufre sur la plaque positive. Le nitrate de strontiane, au lieu de poudre de plomb, donnait une flamme bleue autour de l'extrémité de la cathode de plomb.

Ces résultats paraissent indiquer la possibilité d'obtenir, par électrolyse avec une f. é. m. élevée et une grande densité de courant, des produits de nature absolument différente de ceux que fournit l'électrolyse ordinaire.

Très singuliers phénomènes, en effet ; mais ce qui ne l'est pas moins, c'est que l'auteur ne donne pas la moindre indication sur les f. é. m. et les densités de courant dont il a fait usage, ni même sur leur ordre de grandeur.

E. B.

Digitized by Google

Un nouveau modèle de magnétisme moléculaire (¹) par Ewing.

A une récente réunion de la Société de physique de Cambridge, le professeur Ewing a exposé un modèle permettant de démontrer l'action moléculaire qui se produit dans le fer tournant dans un champ magnétique de petite ou de grande intensité. Cette action est intéressante depuis que M. Baily a montré que dans un champ suffisamment intense l'hystérésis dans une masse de fer en rotation disparaît.

Dans le premier modèle exposé par M. Ewing au meeting de Leeds, de l'Association britannique, la table portant les pivots des petites aiguilles aimantées était fixe, et ce modèle ne permettait que la démonstration de l'hystérésis dans un champ d'intensité variable. Dans le nouveau modèle (fig. 1), les pivots sont fixés sur un disque de verre horizontal qui peut tourner autour d'un axe vertical entre les deux bobines excitatrices, de sorte que les actions en jeu sont analogues à celles qui doivent se produire dans une armature de dynamo. Le

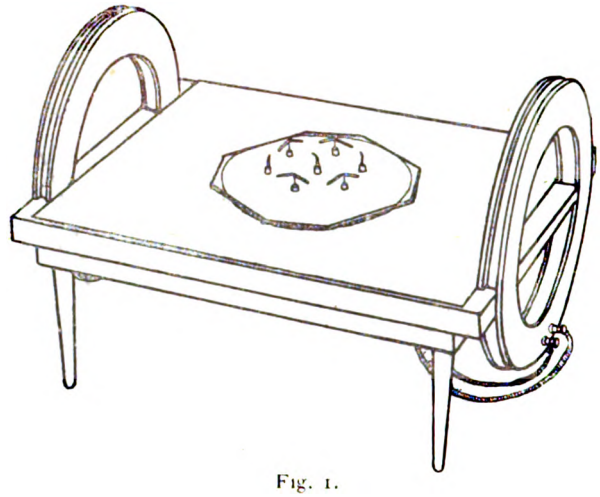


Fig. 1.

disque de verre portant les pivots des aiguilles aimantées peut tourner à une petite distance d'une plaque de verre encastrée dans la table. L'écartement des deux plaques de verre est assuré par un petit plomb de chasse inséré entre elles au centre et qui sert de pivot. Cette disposition peut ainsi être employée pour des projections lumineuses.

Dans la figure 1, le groupement des petits aimants est celui qu'ils affectent lorsque les bobines n'exercent plus sur eux aucune action directrice. Si l'on fait intervenir un champ directeur d'intensité modérée, le groupe d'aimants prend un aspect nouveau, correspondant à l'aimantation faible du fer qu'il représente. Si, dans ces conditions, on fait tourner lentement le disque portant les pivots, les lignes que forment les aimants, se tendent, puis se rompent brusquement pour en former d'autres qui, à leur tour, se détruisent au cours de la rotation du disque. Ces décomposition et recomposition successives des groupements impliquent une dissipation d'énergie, qu'indique l'agitation violente des aimants après chaque rupture des lignes : le phénomène est ici celui de l'hystérésis dans le cas d'une armature de dynamo.

Mais quand on renforce considérablement le champ directeur, les aimants se disposent en lignes parallèles correspondant à la saturation magnétique. Dans la rotation de l'ensemble, les rangées moléculaires ne se rompent plus, et par conséquent il n'y a plus de dissipation d'énergie. Chaque molécule conserve une di-

(¹) *The Electrician*, 29 mars 1895.

Digitized by Google

rection constante et n'oscille plus sous l'action des molécules voisines.

Quand un groupe nombreux d'aimants tourne dans un champ relativement faible, et présente alors de l'hystérésis, le modèle montre que la dépense d'énergie n'a pas lieu d'une façon continue, mais spasmodiquement. Les lignes formées par les aimants se tendent graduellement pendant que le disque décrit un certain angle. Puis, tout à coup, les lignes se rompent simultanément, absorbent de l'énergie et affectent ensuite un nouveau groupement. Le couple de rotation subit également des variations saccadées. Une action de ce genre avait déjà été remarquée par MM. Ewing et Wilberforce dans leurs expériences sur le couple nécessaire à la rotation d'un cylindre de fer dans un champ magnétique.

Avec un champ intense, le modèle démontre l'absence complète d'hystérésis ; on peut ainsi faire tourner très rapidement le disque portant les pivots sans que les aiguilles oscillent.

A. H.

Notes sur la téléphonie aux Etats-Unis, par G. de la Touanne (1).

TARIFS LOCAUX

L'immense majorité des réseaux est exploitée sous le régime de l'abonnement pur et simple. Selon les conditions locales, cherté de toutes choses, emploi de conducteurs aériens ou de conducteurs souterrains, coût plus ou moins élevé des lignes souterraines, usage de lignes unifilaires, bifilaires, genre de microphones et de piles placés chez l'abonné, etc., l'abonnement varie, pour les bureaux d'affaires, de 64 dollars par an à 140 et, pour les résidences privées, de 54 à 180. L'usage aux États-Unis est bien plus répandu que chez nous et presque absolu de posséder son domicile privé dans un quartier absolument distinct de celui des affaires, où l'on a son bureau. En certains endroits, le quartier des affaires, d'une activité fiévreuse les jours ouvrables, est, les dimanches et jours fériés, désert et morne à un point que nous pouvons difficilement concevoir. En même temps, le traitement des affaires est confiné au bureau et la résidence personnelle reste consacrée au repos et aux devoirs de famille. La distinction dans la pratique est donc bien nette entre le service demandé par un poste d'abonné « de résidence » et par un poste « d'affaires » : elle se traduit tout naturellement par une différence dans les taxes appliquées. Les tarifs extrêmes que nous avons cités sont, au reste, exceptionnels : on peut admettre que, dans les villes de plus de 100 000 habitants, les tarifs sont compris entre 100 et 125 dollars pour les bureaux; 72 et 100 dollars pour les résidences.

A titre d'exemple et pour montrer les divers éléments qui peuvent intervenir dans l'établissement du prix d'abonnement, nous mentionnerons ici le tarif en vigueur dans une ville de l'est qui a donné, au dernier recensement, une population de 203 000 habitants.

Poste équipé avec ligne unifilaire :

	dollars	
Abonnement annuel pour un bureau.....	100	Si la longueur de la ligne n'excède pas 1 mile (1609 mètres).
Abonnement annuel pour une résidence.....	72	

Si la distance est supérieure à 1 mile, il est payé en outre 25 dollars par mile, divisible par quart de mile.

Poste équipé avec ligne bifilaire :

	dollars	
Muni d'un microphone ordinaire.....	120	Dans un rayon d'un mile
Muni d'un microphone « solid back ».....	160	

Au delà d'un mile il est perçu 40 dollars par mile, divisible par quart de mile.

Payement à la conversation. — Le payement à la conversation est usité dans quelques villes seulement et donne lieu à plusieurs combinaisons, toutes comportant néanmoins un abonnement fixe minimum.

A San Francisco et Portland, par exemple, l'abonnement pour les résidences donne droit à communiquer sans limitation du nombre de conversations ; celui des bureaux ne donne,

(1) Voir l'*Eclairage Électrique* du 4 mai, p. 223.

Digitized by Google

au contraire, droit à aucune communication gratuite (1). — A Buffalo, le tarif est établi sur une double base : 1° un abonnement plus ou moins élevé suivant le nombre de conversations que l'abonné compte avoir dans l'année, cet abonnement ne pouvant être contracté pour moins de 500 conversations ; 2° une taxe supplémentaire pour toute conversation en excès sur le nombre convenu ; la taxe est d'ailleurs décroissante au fur et à mesure que l'abonnement principal est plus élevé. Par exemple, un abonné ayant eu 550 communications, avec l'abonnement de 500, payera, en outre de 70 dollars correspondant à l'abonnement principal, 3 dollars correspondant à 50 communications payées sur le pied de 6 dollars le cent; un abonné ayant causé 1 575 fois payera 115 dollars d'abonnement principal et 3 dollars correspondant à 75 communications sur le pied de 4 dollars le cent. Par contre, si le nombre, toujours supposé supérieur à 500, de conversations demandées dans une année est inférieur à celui pour lequel l'abonnement a été contracté, il est reversé à l'abonné une somme telle que le prix des conversations effectivement données soit le même que si l'abonnement avait été contracté pour la centaine immédiatement inférieure au nombre de communications en question (l'échelle des abonnements progresse par centaines de communications) : si, un abonnement ayant été contracté pour 1 000 communications, c'est-à-dire payé 95 dollars, il n'a été demandé que 750 communications, le prix de ces 750 communications sera de 80 dollars pour l'abonnement de 700 et de 3 dollars pour les 50, il sera remboursé 95 — 83 = 12 dollars. — Enfin à Milwaukee, et c'est là le système qui détourne le moins les abonnés de communiquer, la taxe annuelle est, au commencement de chaque année, déterminée par le nombre d'appels faits pendant l'année précédente ; à un abonnement, irréductible, de 90 dollars, donnant droit à 1 000 communications, on ajoute le prix des communications en excès calculé sur la base de 2 dollars le cent, c'est-à-dire 2 *cents* par communication : un abonné ayant communiqué 1 100 fois pendant une année payera 92 dollars d'abonnement pour l'année suivante. L'abonnement pour les résidences est de 80 dollars et donne droit à un nombre quelconque de conversations.

Dans tous les cas, le comptage opéré par les bureaux fait loi ; il n'existe pas d'appareils de comptage dans les bureaux ni chez les abonnés.

De ce qui précède, ressortent entre autres deux faits : 1° dans le système de payement à la conversation, il est toujours stipulé un minimum de taxe ; 2° les tarifs ne sont jamais les mêmes pour les bureaux et pour les résidences.

La principale objection opposée à la taxation à l'unité est l'entrave qu'elle apporte à l'usage du téléphone : ses adversaires estiment que la contrainte que s'imposent à ce sujet les abonnés s'applique non seulement aux communications insignifiantes pour lesquelles il y a souvent abus, mais encore à des communications ayant leur utilité ; cette critique paraît fondée : l'on trouve sur ce point, de la contrainte volontaire des abonnés sous le régime de la taxe à la conversation, et de l'extension que, même étant sur leurs gardes, ils donnent à l'emploi du téléphone, sous le régime de l'abonnement fixe, un curieux et instructif renseignement dans une expérience en cours depuis un certain temps à San Francisco, l'un des réseaux où la taxe à la conversation est le plus en honneur. Pour simplifier les questions de payement et rendre le service plus agréable à l'abonné, on admet un système qui rappelle jusqu'à un certain point le système ordinaire. Toute personne peut contracter un abonnement à somme fixe, mais à condition de maintenir le nombre de ses conversations au-dessous d'une valeur déterminée convenue d'avance. Or, voici un relevé fait,

(1) La taxe est perçue lorsque la ligne de l'abonné appelé est libre et que, par conséquent, le central sonne l'appelé, et cela que l'appelant réponde ou non.

Digitized by Google

pour 15 abonnés, du nombre de conversations auquel ils avaient droit et de celui des communications qu'ils ont eues réellement en moyenne par mois pendant un an : le nombre de conversations y est représenté par la taxe correspondante :

ABONNEMENT (par mois) consenti.	SOMME MOYENNE (par mois) qui aurait dû être payée.	DIFFÉRENCE EN PLUS	
		Absolue.	Tant pour 100.
$	$	$	
2,50	6,60	4,10	164
10,00	15,70	5,70	57
5,00	10,15	5,15	103
2,50	5,40	2,90	116
2,50	4,85	2,35	94
3,00	5,50	2,50	83
2,00	4,85	2,85	142
1,50	4,15	2,65	173
2,00	4,60	2,60	130
3,00	6,05	3,05	101
1,00	2,05	1,05	105
1,06	3,20	2,14	201
2,50	4,75	2,25	90
4,00	10,30	6,30	157
6,00	6,35	0,35	5

Il se trouve que la différence entre le service demandé et consenti et le service effectué s'élève jusqu'à 201 p. 100 du premier et que, les deux cas extrêmes mis de côté, la différence moyenne est de 115,7 p. 100.

Quoi qu'il en soit de cette question controversée, il est un point sur lequel nous avons trouvé un accord absolu entre tous les gens qui l'ont examinée, c'est celui de l'application de la taxe à l'unité aux petits réseaux. Tous la repoussent, estimant qu'elle serait à la fois mauvaise pour les abonnés et mauvaise pour l'entreprise : mauvaise pour les abonnés parce que, l'utilité du téléphone dans un réseau peu considérable étant relativement faible, la contrainte volontaire consécutive à l'application du système réduira à bien peu de chose l'usage du téléphone : mauvaise pour l'entreprise parce qu'elle ne tirera pas de revenu du réseau, ne pouvant même adopter des taxes élevées qui sembleraient prohibitives et détourneraient encore les abonnés de communiquer. En fait, dans les États du Pacifique, où l'on est très partisan de la taxe à l'unité pour les grands réseaux de San Francisco et de Portland, il n'existe pas, en dehors de ces deux villes et de Sacramento, Los Angeles, San José, de réseau où elle soit pratiquée.

Stations payantes. — Mais ce qui vient d'être dit, s'applique aux taxes payées pour les postes ordinaires. Il existe une catégorie particulière de postes, ceux placés dans les magasins, pharmacies, hôtels, etc., où ils sont mis à la disposition du public avec ou sans le consentement de la Compagnie téléphonique. Comme on ne peut l'empêcher, on préfère en général, aux États-Unis, reconnaître officiellement l'existence du fait et prendre des mesures spéciales : on frappe ces postes d'un abonnement plus élevé si l'on veut s'en tenir strictement au régime de l'abonnement, ou, ce qui est meilleur, on les constitue, même dans les petits réseaux, à l'état de stations publiques payantes (la perception est alors faite par l'abonné qui reste responsable et touche en échange une partie de la taxe), ou bien encore on y installe des stations payantes automatiques. On installe aussi parfois des stations de ce dernier genre dans certains endroits publics spéciaux, salles d'attente de chemins de fer, Bourses, etc., où les Compagnies téléphoniques n'ont personne à qui confier la perception d'une taxe et où cependant le public est bien aise de trouver une station téléphonique. Deux systèmes sont en usage, le système Mac Cluer et le système Gray.

Système Mac Cluer. — Dans le système Mac Cluer (fig. 34), les communications du poste d'abonné subissent une légère altération, la communication entre le générateur, pile ou magnéto, qui sert à sonner, et la ligne représentée par le levier, est normalement rompue et l'appel du bureau ainsi rendu impossible. Il faut, pour appeler, rétablir la continuité du circuit ; ce résultat est obtenu par l'insertion, entre un doigt A communiquant avec le générateur et un ergot B fixé au levier L, d'une pièce de monnaie de dimension déterminée : on peut alors sonner, *sans mouvoir le levier*, puis décrocher le téléphone et relever le levier ;

Digitized by Google

la position de B est telle que, en se soulevant, le levier éloigne cet ergot de la pièce de monnaie ; celle-ci non soutenue, tombe. En pratique, quand on veut communiquer, on introduit la pièce de monnaie désignée dans un orifice allongé ménagé sur le côté de la caisse en bois du poste et formant l'ouverture d'un conduit plat vertical qui débouche à l'autre extrémité dans un petit réservoir caisse. A une certaine hauteur, le conduit est échancré sur ses deux tranches: la paroi est partiellement reconstituée d'un côté par le doigt A et de l'autre, au repos, par l'ergot B ; la distance entre A et B est déterminée de manière que la pièce représentant le prix de la conversation soit arrêtée et les mette en contact aussi longtemps que L n'est pas relevé ; lorsque, après avoir sonné, on décroche le téléphone, la pièce continue son chemin dans le conduit vertical et tombe dans la caisse. Ce système est, on le voit, combiné en vue d'une taxe unique.

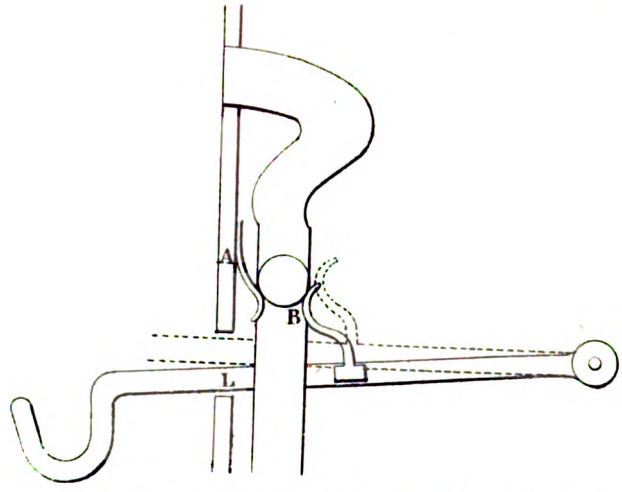


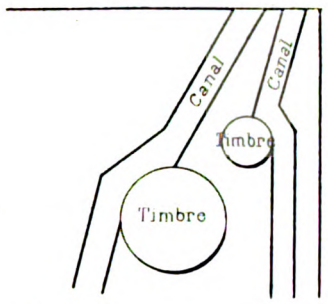
Fig. 34. — Station payante automatique, système Mac Cluer.

Système Gray. — M. Gray, de son côté, a cherché à réaliser un système (fig. 35 et 36) où l'on pût employer des pièces de monnaie différentes correspondant à différentes taxes. En dessous du microphone et communiquant avec la boîte de ce microphone par un conduit jouant le rôle de tube acoustique, est placée une caisse ABC dans laquelles sont disposées, à très petite distance l'une de l'autre, deux grandes plaques inclinées ; l'intervalle est simplement suffisant pour que toutes les pièces de monnaie qui doivent servir à payer les taxes puissent glisser à plat entre les deux plaques: l'espace compris entre les plaques est découpé, par des cloisons appropriées, en un certain nombre de petits canaux dont la largeur correspond aux diamètres des pièces à employer: ces canaux débouchent naturellement, par la partie supérieure, à l'extérieur de la caisse ABC. D'autre part, ils présentent, en certains points, des échancrures par lesquelles pénètre le bord de différents timbres, Si, dans le canal n° 1, par exemple, on fait glisser une pièce de 10 cents, elle viendra, dans sa chute, frapper un timbre de son aigu : un autre canal destiné à des pièces d'autre valeur aura 2 timbres : celui destiné au dollar recevra le bord d'un timbre à son grave, etc. Le son produit ainsi se propagera, par le tube acoustique, jusqu'au microphone et, si le crochet est levé, sera entendu au poste central par l'opérateur qui a le téléphone à l'oreille. La manœuvre pour obtenir une communication est donc la suivante : sonner, demander la communication comme avec un poste ordinaire, mettre, sans raccrocher le téléphone, dans la fente convenable, la

Digitized by Google

pièce de monnaie exigée. L'opérateur n'achève pas la communication avant d'avoir entendu le son des timbres correspondant à la somme à payer.

Ces deux systèmes ne sont pas, jusqu'à présent du moins, d'un usage très étendu ; là où



Vue de la plaque inférieure

Fig. 55. — Station payante automatique système Gray.

ils sont employés cependant, ils paraissent donner satisfaction. Une même observation peut être faite pour les deux ; c'est que la réalité de la recette dépend de la bonne foi des personnes qui appellent et qui peuvent mettre des disques de métal quelconques au lieu de

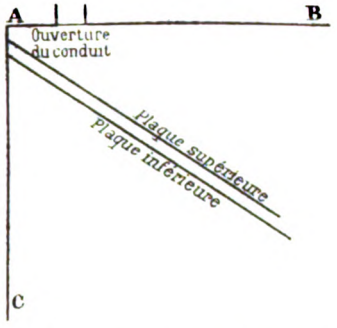


Fig. 56. — Station payante automatique, système Gray.

pièces de monnaie ayant cours. En fait, le public se montre honnête et les chefs de réseaux ne se plaignent pas. Si l'appareil est placé dans un magasin, on peut du reste rendre le propriétaire responsable des fausses pièces qui se trouveraient dans les caisses ou encore faire les ouvertures telles qu'elles ne correspondent à aucune pièce existante, mais à des jetons spéciaux, et vendre au propriétaire un certain nombre de ces jetons qu'il délivrerait aux gens désirant communiquer.

TARIFS INTERURBAINS

Les tarifs interurbains paraissent généralement élevés si on les compare aux nôtres, ce que l'étendue du pays rend tout naturel. Il existe deux genres de tarifs interurbains : ceux *régionaux*, ceux dits *à grande distance*. Les diverses Compagnies téléphoniques qui ont obtenu la licence d'exploiter les brevets téléphoniques fondamentaux se sont partagé les États-Unis ; chacune d'elles a son territoire propre, y exploite, outre des réseaux urbains, des lignes interurbaines présentant ainsi un caractère régional. D'autre part, une Compagnie spéciale s'est fondée, dite communément *Compagnie de longue distance*, pour construire et exploiter non seulement des lignes du même genre, mais surtout des lignes reliant entre eux les divers territoires des précédentes. A l'intérieur d'un même territoire, les taxes ne descendent pas, croyons-nous, au-dessous de 1 fr. 25 : les taxes de 2 fr. 50 y sont très fréquentes (sur 92 villes en communication, directe ou non, avec Washington, dans le territoire de la Compagnie de Chesapeake et Potomac, il y en a 85 pour lesquelles la taxe est de 50 cents, c'est-à-dire un peu plus de 2 fr. 50) et les taxes supérieures sont loin d'être rares. Dans le réseau de la Compagnie de longue distance, les taxes sont nécessairement très variables et généralement élevées ; elles montent jusqu'à 7, 8 et 9 dollars et dépassent parfois 10 dollars ; celles de 1, 2, 4 dollars sont courantes. La taxe de New-York à Chicago (1 500 kilomètres) de 9 dollars, est, nous devons le dire, la seule qui corresponde à un circuit direct. Les autres taxes d'importance analogue sont obtenues par la totalisation des taxes élémentaires correspondant aux diverses lignes directes qu'il faut relier entre elles pour donner une communication entre deux villes ne jouissant pas d'une ligne spéciale. Il est d'ailleurs accordé une réduction

Digitized by Google

allant jusqu'à 25 p. 100 à ceux qui ont de fréquentes communications à grande distance. Le tarif de nuit représente 50 p. 100 du tarif de jour. Les taxes, sauf dans les territoires du Pacifique, sont établies pour une durée de conversation de 5 minutes indivisibles. Cette durée de 5 minutes est, au reste, trop longue ; celle de 3 minutes est plus convenable, se rapproche davantage de la durée normale d'une conversation et répond mieux aux besoins du service. Les Compagnies du Pacifique ont adopté 3 minutes sur leurs lignes interurbaines, sans que cela soulève aucune protestation ; le temps en excès de 3 minutes y est compté par minutes. Un système en usage dans ces Compagnies peut être intéressant à noter, c'est celui du *service limité*. Sur celles des longues lignes où le tarif est élevé, un correspondant a droit, en le demandant, de causer pendant une demi-minute à tarif réduit. Cette combinaison paraît appréciée, puisque, pour l'ensemble des Compagnies de la côte du Pacifique, 25 p. 100 de communications échangées sur les longues lignes à tarif élevé le sont sous le régime du *service limité*. — En ce qui concerne la Compagnie de grande distance, on peut admettre d'une façon générale que la taxe est calculée sur la base de 1 cent (un peu plus de 0 fr. 05) par mile (1).

L'élévation relative des taxes s'explique aisément non seulement par la différence entre le pouvoir d'achat de la monnaie en Europe et aux États-Unis, mais encore par bien d'autres causes. Les distances considérables exigent l'immobilisation de capitaux importants dans les travaux de premier établissement, rendent la surveillance et la réparation des lignes plus difficiles et plus coûteuses, l'interruption plus dommageable. Les circuits n'empruntant point les appuis télégraphiques sont posés sur lignes spéciales. Les Compagnies d'autre part ont droit à un bénéfice légitime et comme les lignes téléphoniques ont, en tous pays et de par leur genre même d'exploitation, un assez faible rendement, ces bénéfices, comme aussi l'amortissement des capitaux engagés, doivent venir des personnes en nombre forcément restreint qui profitent des communications, tandis que les administrations d'État recourent à l'impôt pour créer de semblables lignes, les exploiter et combler au besoin les insuffisances de recettes. Il faut ajouter enfin que les Compagnies, dans leur désir de fournir un service aussi parfait et rapide que possible, ont assumé parfois de bien lourdes charges par la construction de circuits fort nombreux et peu rémunérateurs : c'est ainsi que le nombre de 30 communications par jour est admis comme rendement moyen par circuit et qu'on arrive par là à donner les communications d'abonnés à abonnés en 2 ou 3 minutes. Au point de vue de l'intérêt commercial immédiat, les circuits ont-ils été un peu trop multipliés dans certaines directions ? Aurait-on pu, sans inconvénients graves, admettre que les abonnés attendissent quelques minutes ? Cela est possible. Mais on pense que la question première est de fournir un bon service, sauf à le faire payer ce qu'il vaut ; il faut reconnaître que cette conception répond à l'intérêt vrai du public.

(1) Les fils employés étant de deux diamètres différents seulement, le coût des lignes reste probablement à peu près proportionnel à la longueur des circuits et facilite l'application d'une taxe elle-même proportionnelle.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Société internationale des Électriciens.

1er mai 1895.

M. *Rey* présente le Lumen-mètre de M. Blondel.

M. *Bochet* décrit les installations électriques du prolongement métropolitain de la ligne de Sceaux.

La partie de la ligne comprise entre le raccordement avec l'ancienne ligne et la gare du

Digitized by Google

Luxembourg a une longueur de 2 000 mètres environ ; le prix par kilomètre, déduction faite de l'achat de l'immeuble, dépasse 3 000 000 fr. Les locomotives sont chauffées avec du coke, on condense la vapeur en l'amenant dans des bâches qui renferment 4 m.³ d'eau à 15° ; au retour la température de l'eau est d'environ 80° ; ce système de condensation, très pratique pour une ligne courte, serait donc inapplicable sur un plus long trajet.

L'ensemble des installations électriques est destiné à éclairer et à produire une force motrice. L'éclairage est fourni par 96 lampes à arc et 500 lampes à incandescence ; la force motrice devait mettre en mouvement un pont tournant, deux ascenseurs à la gare Denfert (ancienne gare de Sceaux), trois ascenseurs à la gare-terminus du Luxembourg, tous ces ascenseurs étant destinés au service des bagages, une plaque tournante située à l'extrémité de la voie de garage qui prolonge la nouvelle ligne, une pompe d'épuisement et un pont tournant sur l'ancienne ligne. La distance des points extrêmes est 3,200 kilomètres ; l'usine devait être établie dans les dépendances de l'ancienne gare, les dispositions devaient prévoir l'extension jusqu'au boulevard Saint-Germain.

On a employé les courants continus avec un système à trois fils, sous une tension totale de 440 volts ; les lampes à incandescence sont réunies en série par groupe de deux, les arcs, quatre par quatre. Deux machines fournissent la tension de 220 volts entre le fil moyen et les fils extrêmes, on a ainsi deux groupes fournissant une puissance de 80 000 watts. Le service est interrompu seulement quatre heures par jour ; les crayons des lampes à arc peuvent durer vingt heures. La puissance inutilisée sert à charger des accumulateurs ; les batteries reçoivent seulement une tension de 220 volts ; le survolteur nécessaire pour la fin de la charge est un transformateur à courant continu.

Pour les machines à vapeur, on avait prévu d'abord l'échappement libre, on a dû employer ensuite des réfrigérants ; vu le prix de l'eau (0 fr., 10 par m.³) on a cherché à réduire la consommation en utilisant un système analogue à celui des tours de condensation de l'acide chlorhydrique ; la dépense est de 8 m.³ par cheval.

M. *Street* décrit les fours électriques et leur application à la transformation du carbone en graphite, par le procédé *Ch. Girard* et *Street*.

La communication commence par un historique fort complet des fours électriques, qui ont fait leur apparition à l'Exposition d'Electricité de 1881, où l'on a vu, pour la première fois, volatiliser de la silice. Dans le four de MM. Girard et Street, la pièce de charbon soumise au traitement sert elle-même d'électrode, elle est à l'intérieur d'une gaine également en charbon et l'arc jaillit dans l'espace annulaire ; toutes les parties de la pièce se trouvent ainsi dans le même état. Toutes les impuretés sont entièrement volatilisées ; la densité du carbone augmente notablement par la transformation presque totale en graphite ; pendant cette transformation le charbon est légèrement ramolli et on peut courber une tige en exerçant des pressions à ses extrémités. Le graphite ainsi obtenu est très propre à servir d'électrodes ; sa conductibilité est très élevée et il est peu attaquable par les agents chimiques.

Société française de physique

3 mai 1895.

M. *Chauveau* expose ses essais de détermination du potentiel de l'air au sommet de la tour Eiffel.

La méthode employée est la méthode classique d'écoulement avec l'électromètre comme appareil enregistreur. M. Chauveau a introduit quelques perfectionnements :

Avec le réservoir ordinaire, la longueur du jet diminue notablement pendant l'écoulement ; par suite la prise de potentiel se fait en un point très variable. On obvie à cet inconvénient en employant une cuvette large munie en son centre d'un tube vertical étroit au bas

Digitized by Google

duquel est fixé le tube d'écoulement; la pression est toujours voisine de celle qui correspond à la longueur du tube vertical.

Les piles à eau qui servent ordinairement à la charge ont une force électromotrice très variable; on obtient de très bons résultats avec la pile au sulfate de magnésie, dont l'emploi a été indiqué par M. Damien.

On supprime le déplacement du zéro qui s'observe constamment avec l'appareil ordinaire, dès que l'acide sulfurique a séjourné quelque temps dans le cristallisoir où plonge la tige reliée à l'aiguille, en faisant arriver cette tige dans de la glycérine. Cette glycérine, contenue dans un petit verre central, est reliée à l'acide sulfurique qui l'entoure par un petit cavalier de platine; la rapidité des indications n'est pas diminuée.

M. Hopkinson a observé le premier qu'au delà de 35 000 volts l'électromètre donne une déviation constante; MM. Ayrton et Perry ont fait une étude complète du phénomène, M. Chauveau en trouve l'explication dans les formules qu'a développées M. Gouy à propos du couple directeur électrique. Pour mesurer des potentiels qui sont de l'ordre de 40 000 volts, l'auteur opère une réduction au moyen d'une cascade; les condensateurs en série sont constitués par des disques de bronze que séparent des lames de mica.

Un isolement très satisfaisant s'obtient en faisant reposer le réservoir sur une lame de paraffine; il persiste tant que la surface de la paraffine reste propre. M. Chauveau signale même, comme assez inattendu, le fait, qu'au sommet de la tour les expériences d'électricité statique réussissent très facilement.

Une des grandes difficultés des observations consiste dans le mouvement continuel du jet, produit par le vent; les surfaces équipotentielles étant très resserrées il en résulte dans la courbe des oscillations énormes, qui en rendent très difficile le dépouillement. M. Chauveau renvoie à une prochaine séance l'étude des résultats obtenus.

Signalons enfin une simplification dans l'installation de l'appareil enregistreur; l'appareil complet à horloge exige un sol très stable; M. Chauveau emploie simplement un cylindre enregistreur Richard; pour éviter de salir le papier photographique, avec les doigts, on l'enroule avec la face sensible à l'intérieur.

C. R.

Sur la résistance électrique des liquides sucrés, par Gin et Leleux (1).

Des recherches relatives à l'électrolyse des jus sucrés ont amené les auteurs à mesurer la résistance électrique de dissolutions aqueuses de sucre pur. La dissolution était contenue dans un tube de verre cylindrique fermé à ses extrémités par des obturateurs métalliques rodés servant d'électrodes et reliés aux pôles d'une batterie d'accumulateurs. L'intensité I du courant est donnée par un galvanomètre en dérivation sur le circuit principal; un électromètre Mascart donnait la différence de potentiel e entre deux points du liquide. La résistance spécifique ρ à t° et pour une densité de courant $\frac{I}{S}$ était déduite des indications de ces instruments par la formule

$$\rho = \frac{e}{I}\frac{S}{l},$$

S étant la section du tube et l la distance des deux points dont on mesurerait la différence de potentiel.

Ces mesures ont conduit les auteurs aux conclusions suivantes :

1° La résistance électrique varie avec la concentration et peut être représentée par une fonction de la forme

$$y = a - bx + cx^2.$$

x étant la concentration en grammes-molécules par litre. Pour des valeurs de x comprises entre 0,1 et 2, on a

$$y = 52160 - 3040\,x + 18980\,x^2.$$

(1) *Comptes rendus*, t. CXX, p. 917, 29 avril 1895.

Digitized by Google

2° Elle dépend de la température et peut être représentée par la fonction

$$y = A - Bt + Ct^2,$$

où A, B, C sont des coefficients dépendant de la concentration et variant respectivement de 65,8 à 160, de 1 à 2,8, de 5 à 13,5 environ quand la concentration varie de 0,1 à 2.

3° Elle dépend de la densité du courant et pour des densités comprises entre 0,1 et 10 milliampères elle peut être représentée par

$$y = \alpha - \beta \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x$$

formule que les auteurs cherchent à expliquer par des considérations théoriques.

J. B.

Interrupteur pour l'obtention des courants de hautes fréquences, par H. Griffiths (1).

En analysant le mémoire de M. Griffiths relatif à ses expériences sur les courants alternatifs (Voir *Éclairage Électrique* du 27 avril. p. 180) nous disions que l'auteur avait dû, pour obtenir des fréquences suffisamment grandes, remplacer l'interrupteur ordinaire des bobines de Ruhmkorff par un interrupteur particulier. Celui-ci est représenté schématiquement par la figure 1. AC est un fil de fer tendu portant en son milieu une pointe de platine plongeant dans le mercure contenu dans une coupelle F. B est la pile, I la bobine d'induction, D et E deux électro-aimants. Quand le courant passe dans ceux-ci, le fil AC est attiré et la pointe de platine cesse de plonger dans le mercure; le courant primaire est alors rompu et la pointe plonge bientôt de nouveau dans le mercure, de sorte que le fil prend un mouvement oscillatoire qui provoque la rupture et la fermeture du circuit primaire.

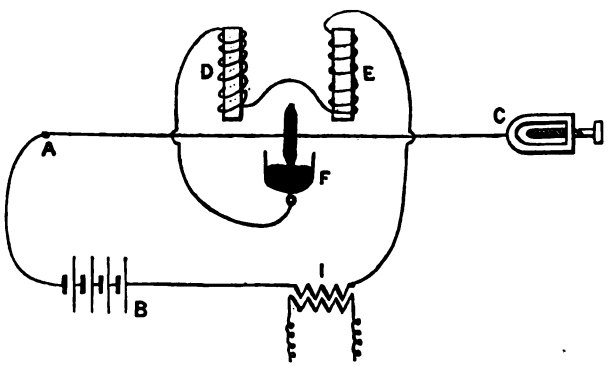


Fig. 1. — Diagramme de l'interrupteur employé pour la production de courants alternatifs de courtes périodes.

Les essais faits avec cet interrupteur ont montré que la régularité de son fonctionnement est augmentée si l'on place en dérivation entre la pointe de platine, et le mercure de la coupelle F, une série d'éléments formés de lames de plomb plongeant dans de l'eau acidulée, et que l'amplitude de la vibration est accrue si les noyaux des électros-aimants sont préalablement aimantés par un courant traversant des bobines auxiliaires entourant ces noyaux.

Dans la note qui nous occupe l'auteur établit par le calcul quelques propriétés de cet interrupteur en supposant les noyaux des électros fortement aimantés par un courant

(1) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 250-254; mars 1895.

Digitized by Google

auxiliaire, mais en ne tenant pas compte des éléments placés en dérivation sur le trajet de l'étincelle de rupture.

Les noyaux des électros étant supposés fortement aimantés on peut admettre que la variation F de l'attraction qu'ils exerçent sur le fil, par suite de l'augmentation d'aimantation résultant du passage du courant qu'il s'agit d'interrompre, est proportionnelle à l'intensité i de ce courant. Calculons d'abord cette intensité.

Désignons par L la self-induction des électros, qui, dans l'appareil employé par l'auteur était d'environ 10^9 unités C. G. S.; par R la résistance de ce circuit qui était de 3×10^9 unités C. G. S.; par T la durée de la vibration et par n la fréquence $\frac{1}{T}$; par i_m l'intensité maxima du courant dans le circuit primaire, c'est-à-dire l'intensité au moment même qui précède celui de la rupture; enfin par E la force électromotrice de la pile.

L'intensité du courant dans le circuit primaire un temps t après la fermeture du circuit est donnée par

$$i = i_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{L}}\right), \qquad (1)$$

i_0 étant l'intensité que prend finalement le courant, c'est-à-dire $\frac{E}{R}$. Si le temps t est très petit, on peut remplacer cette relation par la suivante

$$i = i_0 \frac{Rt}{L}. \qquad (2)$$

Si l'on suppose que le circuit reste fermé pendant le temps $\frac{T}{2}$, la relation (1) donne les valeurs de l'intensité maxima,

$$\begin{aligned} i_m &= i_0 \times 0{,}04667, \quad \text{pour} \quad T = 2, \\ i_m &= i_0 \times 0{,}2541, \qquad\quad T = 1/5, \\ i_m &= i_0 \times 0{,}03, \qquad\quad T = 1/50, \\ i_m &= i_0 \times 0{,}003, \qquad\quad T = 1/5000, \\ i_m &= i_0 \times 0{,}0015, \qquad\quad T = 1/100, \end{aligned}$$

résultats qui montrent que si n est plus grand que 50 la formule (2) peut être considérée comme correcte. On en déduit que le courant moyen dans le circuit primaire varie en raison inverse de la fréquence.

L'auteur considère ensuite l'énergie qui est communiquée au fil en vibration pendant la durée d'une oscillation complète.

Il fait d'abord remarquer que le courant qui traverse les bobines des électros étant plus intense quand le fil s'élève que quand il s'abaisse, le travail accompli par les forces électromagnétiques agissant sur le fil pendant son ascension est plus grand que celui qui est accompli à l'encontre de ces forces pendant que le fil descend. La différence entre ces travaux est encore augmentée par les forces électrodynamiques qui prennent naissance au moment où jaillit l'étincelle, mais dans ce qui suit le travail de ces forces est négligé.

Quoique, en réalité, le mouvement vibratoire du fil ne soit pas rigoureusement harmonique, on peut, à titre de première approximation, supposer qu'il en est ainsi et écrire

$$x = a \sin pt,$$

x étant la distance de la pointe de platine au-dessous de sa position moyenne, a la distance qui sépare les positions extrêmes de cette pointe et p étant égal à $\frac{2\pi}{T}$. Le travail accompli par les forces électro-magnétiques est donné par l'intégrale de $F dx$ prise entre les limites qui correspondent au commencement et à la fin d'une oscillation. Comme il a été supposé que F est proportionnel à i qui est donné par (2), il est facile de calculer, à un facteur constant près, la valeur de cette intégrale; on trouve qu'elle est proportionnelle à

$$\frac{i_0 RTa}{L} \quad \text{ou} \quad \frac{ETa}{L},$$

ce qui montre que l'énergie communiquée au fil pendant une oscillation varie en raison inverse de la fréquence si l'amplitude reste constante.

Cette énergie est employée à vaincre :

1° La résistance de l'air que l'on peut consi-

Digitized by Google

dérer comme variant proportionnellement au carré de la vitesse des points du fil.

2° L'amortissement dû aux courants induits par le mouvement du fil dans le champ des électros-aimants, amortissement qui est sensiblement proportionnel à la vitesse.

3° Les résistances de frottement, que l'on peut négliger.

Si l'on ne tient compte que de la résistance due aux courants induits, on trouve, en égalant le gain à la perte d'énergie, que E est proportionnel à n^2. Si au contraire on ne tient compte que de la résistance de l'air, on trouve que E est proportionnel à n^3, c'est-à-dire que si quatre éléments de pile sont employés pour produire une fréquence égale à 500, il faudra 32 de ces éléments pour obtenir la même ampleur de l'oscillation du fil avec une fréquence égale à 1 000.

Si l'on suppose la force électromotrice constante on trouve que, en ne tenant compte que de la résistance de l'air, l'amplitude décroît quand n croît, a étant proportionnel à $n^{-\frac{3}{2}}$.

De cette théorie il résulte que l'on peut augmenter indéfiniment la fréquence à la condition d'augmenter suffisamment la force électromotrice. Toutefois il convient de remarquer que le fil cesse de vibrer quand l'intensité i_0 devient trop petite, condition dont ne tient pas compte cette théorie.

En terminant l'auteur fait remarquer qu'on pourrait traiter facilement le cas général où l'intensité du courant est donnée par la formule (1). En suivant la marche que nous venons d'indiquer, on trouve pour la quantité d'énergie communiquée au fil par les forces électromagnétiques pendant la durée d'une vibration,

$$W = K \frac{i_0 \beta a R L \left(1 + e^{-\frac{RT}{L}}\right)}{R^2 + L^2 f^2},$$

K étant un facteur de proportionnalité. Cette expression conduit aux conclusions énoncées ci-dessus quand on suppose T très petit.

Il est évident que pour obtenir l'amplitude la plus grande pour une fréquence donnée, il faut que W soit maximum. Sans faire de calculs il est facile de voir que, pour qu'il en soit ainsi, L doit avoir une certaine valeur; en effet, puisque pour $L = 0$ et pour $L = \infty$ on a $W = 0$, W passe par un maximum pour une valeur déterminée de L.

L'interrupteur employé par M. Griffiths présente donc sur les autres types d'interrupteurs cet avantage que les conditions de son fonctionnement peuvent être facilement trouvées par le calcul, ce qui peut avoir quelque intérêt dans certaines recherches.

J. B.

Recherches sur la dispersion électrique par M. Drude (1).

M. Drude désigne sous le nom de dispersion électrique la variation de la constante diélectrique avec la période vibratoire; la dispersion est normale quand les deux quantités varient en sens inverse. L'influence de la période a déjà été étudiée dans différents travaux, mais les résultats sont contradictoires, et il ne semble pas qu'on se soit suffisamment attaché jusqu'ici à la réalisation de « spectres électriques purs », c'est-à-dire de vibrations électriques dont la période soit nettement définie.

La disposition employée pour produire les ondes est celle de M. Blondlot, les fils de ligne ont 15 m. de long et 2 mm. de diamètre; ils sont distants de 10 cm; leurs extrémités peuvent être reliées aux armatures de deux condensateurs, l'un à air, l'autre dans lequel on introduit la substance à étudier. Au voisinage des extrémités des fils, sont enroulés deux fils de platine reliés aux électrodes d'un tube de Zehnder dont l'éclat révèle l'existence de vibrations énergiques; enfin un pont mobile de cuivre, de 1 à 2 mm., peut se déplacer, de 0,50 m. à 1,50 m. de l'extrémité de la ligne.

On relie d'abord les fils au condensateur à air, et, laissant le pont à une abscisse l, on

(1) *Wied. Annal.*, février 1895.

Digitized by Google

détermine les distances d_0 des armatures pour lesquelles l'éclat du tube de Zehnder est maximum ; il peut exister une seconde abscisse du pont l', pour laquelle deux des distances d_0 aient la même valeur que dans le premier cas ; on détermine soigneusement ces abscisses l et l' qu'on appellera « correspondantes » (*zugehörige*). On introduit alors le condensateur à liquide et on détermine les distances d pour les positions l et l' du pont ; il est clair que si la constante diélectrique de la substance étudiée était, comme celle de l'air, la même pour des périodes différentes, les distances d auraient la même valeur pour les deux positions; sinon on pourra déduire de la comparaison des valeurs de d la variation de la constante diélectrique en fonction de la période. Il serait incorrect de déduire la constante diélectrique du rapport $\frac{d_0}{d}$ pour une position quelconque du pont, parce qu'il faut tenir compte également de la capacité des fils, qui n'est pas négligeable.

Les plateaux des condensateurs à air ont 14,9 cm. de diamètre ; leur distance peut être déterminée à 0,01 mm. près. Pour les liquides, les plateaux ont 2 cm. de diamètre ; ils sont horizontaux et suffisamment rapprochés pour que le liquide se maintienne de lui-même.

La précision des mesures dépend du choix de l'abscisse l. Pour certaines valeurs de cette distance, il se forme un nœud à l'extrémité des fils, et le tube de Zehnder continue à luire quelle que soit la capacité ; après avoir déterminé les positions du pont on choisit pour opérer les positions intermédiaires.

La longueur du pont a une influence sur l'intensité de la résonance ; il est facile de constater que l'écartement des deux fils de ligne n'a pour effet d'accroître la résonance que par suite de l'allongement du pont ; on peut obtenir le même résultat en employant des ponts courbes avec des fils rapprochés. D'ailleurs, avec des tubes très sensibles, il ne faut pas chercher à produire une résonance trop énergique ; il y a, pour chaque cas, à choisir la longueur convenable du pont. Avec le condensateur à air, il n'y a pas de difficultés, on ne commence à en rencontrer que quand on étudie les substances qui absorbent des radiations ; pour la benzine, le pétrole et même l'alcool, un pont rectiligne de 10 cm. est suffisant, pour l'eau on prend un pont recourbé de 26 cm.

La méthode permettrait, avec l'emploi de bonne vis micrométriques, de déterminer, à une précision de 0,25 p. 100 près, la relation entre les constantes diélectriques et la période vibratoire.

Les périodes vibratoires ont été calculées à l'aide de la formule

$$\frac{2\pi l}{Tv}\,\mathrm{tg}\,\frac{2\pi l}{Tv} = \frac{l}{4c\log\frac{a}{\rho}}$$

dans laquelle v est le rapport des unités, c la capacité électrostatique du condensateur, a la distance des fils, ρ leur rayon, l la moitié de la longueur des fils allant d'un des plateaux du condensateur à l'autre. Il ne s'agit ici que de la vibration fondamentale, qui semble avoir été la seule qui prît naissance.

La constante diélectrique de l'*alcool* varie de 1,7 p. 100 environ quand la période passe de 5.10^{-8} sec à 7.10^{-8} sec ; la dispersion est normale et à peu près double de ce qu'elle est pour les rayons visibles.

L'*eau* semble donner une dispersion anomale; il est d'ailleurs inutile de calculer la variation de la constante diélectrique, parce qu'on se trouve dans une région où le liquide exerce une absorption notable.

Enfin l'*ébonite* n'a manifesté aucune dispersion sensible (moins de 1/2 p. 100).

La valeur absolue de la constante diélectrique ne peut se déduire avec précision des mesures ; voici les nombres approchés indiqués par l'auteur :

Alcool (1)	Eau	Ebonite
26,5	de 84 à 130	2,95

C. R.

(1) M. Nernst avait, avec le même liquide, trouvé pour des oscillations lentes, la valeur 25,6 (*Zeitch. f. phys. Chem.* T. XVI, p. 622, 1894).

Digitized by Google

Influence des ondes électriques sur la résistance des conducteurs, par M. Aschkinass (1).

En cherchant à mesurer, à l'aide d'un bolomètre, l'intensité de la radiation électrique d'un excitateur de Righi, l'auteur a constaté que la résistance de la branche atteinte par les ondes diminuait notablement. Cette diminution persiste pendant plusieurs jours sans variation sensible ; sa valeur maxima, qui est d'environ 2 p. 100, est atteinte immédiatement, dès la première étincelle. La résistance était constituée par 41 tours d'un ruban d'étain de 0,75 mm. de large formant une sorte de réseau de 4 cm. de long sur 3,5 mm. de large; sa valeur atteignait 30 ohms. Le phénomène est indépendant de l'orientation de la vibration électrique.

Quand on chauffe la résistance, elle reprend progressivement sa valeur primitive ; elle la reprend immédiatement par l'action d'un léger choc. On peut alors répéter l'expérience dans les mêmes conditions.

Le phénomène ne se produit que quand l'étincelle primaire a une longueur assez grande pour qu'on puisse observer une étincelle secondaire au résonateur ; l'action est donc certainement due aux vibrations électriques, mais dans les conditions particulières où opérait M. Aschkinass, les fils de jonction transmettaient cette action. L'auteur l'a établi par plusieurs expériences : la diminution de résistance s'observe encore quand on entoure le réseau bolométrique d'une boîte métallique qui n'est ouverte que pour laisser passer les fils ; elle disparaît si, dans ce cas, on isole le réseau. Il suffit, pour la produire, de relier au réseau un seul fil qui émerge de la boîte sur une longueur de quelques millimètres seulement ; on a ainsi un moyen très sensible de déceler les vibrations électriques.

On peut répéter l'expérience des réseaux de Hertz en pratiquant dans la paroi de la boîte exposée aux vibrations une ouverture de 3 cm. de côté ; la diminution de résistance, quand on interpose un réseau, est faible quand les fils sont parallèles à la vibration, et reprend à peu près la valeur ordinaire quand les fils sont perpendiculaires. L'expérience n'avait pas réussi sans boîte, à cause de l'action perturbatrice des fils de jonction ; il est bon également d'employer un diaphragme. Ainsi, un réseau n'exerce pas une action protectrice absolue vis-à-vis des vibrations parallèles à sa direction ; les résonateurs ordinaires à étincelles ne décèlent rien, mais l'expérience précédente est si sensible que, si l'on n'emploie pas de diaphragme, la diminution de résistance est sensiblement indépendante de l'orientation du réseau interposé.

A une distance de 3 cm., la variation de résistance est encore sensible ; elle l'est encore à une distance beaucoup plus grande quand on transmet les vibrations à l'aide d'un fil dont une extrémité est reliée au réseau, et l'autre se trouve au voisinage de l'excitateur.

Il faut enfin chercher si c'est dans le ruban d'étain lui-même ou dans les contacts que se produit la variation de résistance. Il était impossible, pour trancher la question, d'exposer le réseau seul aux radiations, puis de mesurer sa résistance ; ces manipulations auraient produit des secousses et supprimé l'effet à observer. M. Aschkinass a construit un nouveau réseau divisé en deux parties entre lesquelles est un nouveau contact permettant d'introduire dans le circuit chacune des deux parties ou la totalité du réseau. Si la diminution de résistance ne porte que sur le fil d'étain, la résistance de l'ensemble doit être égale à la somme de celles des deux parties, ce qui n'aura pas lieu si la résistance des contacts diminue ; c'est la première hypothèse qui est réalisée.

Le même phénomène se produit avec tous les fils d'étain qu'a essayés l'auteur ; la diminution de résistance varie entre 1 et 3 p. 100 ; on peut aussi la mesurer avec l'électrodynamomètre et les courants alternatifs ; l'argent, le fer et la platine ont donné des résultats beaucoup moins constants. Avec des fragments

(1) *Société de physique de Berlin*, 30 novembre 1894.

Digitized by Google

de miroir platiné on a obtenu un accroissement très notable de résistance.

L'auteur tend à croire que les résultats qu'il a observés se rapprochent des variations de conductibilité produites par l'aimantation ; il laisse provisoirement ouverte la question du rapprochement avec la variation de la conductibilité des poudres métalliques produite par une étincelle.

Les ondes employées dans ces recherches étaient produites, soit par la décharge des conducteurs d'une machine de Holtz (elles avaient alors plusieurs mètres), soit par un excitateur de Righi qui donnait des longueurs de 7,5 cm. Enfin, des ondes de 3 cm. étaient produites par un excitateur de Righi légèrement modifié, de façon qu'on puisse régler micrométriquement l'écartement des boules médianes.

C. R.

BIBLIOGRAPHIE

Abrégé de la théorie des fonctions elliptiques, à l'usage des candidats à la licence ès sciences mathématiques, par Charles HENRY. (1 vol. *Nony*, éditeur).

L'étude des fonctions elliptiques prend chaque jour une importance plus grande et leurs applications à la mécanique et à la physique se multiplient à tel point qu'il est indispensable à quiconque s'intéresse à ces sciences de posséder les éléments de leur théorie ; cette théorie se développe sans cesse et il est difficile de se guider à travers les nombreux travaux à laquelle elle a donné naissance ; en dehors des anciens ouvrages, écrits avec les notations d'Abel et de Jacobi, il existe bien un traité magistral des fonctions elliptiques, dû à Halphen et MM. Tannery et Molk ont commencé la publication d'un traité dont on ne saurait trop louer la netteté et la rigueur des démonstrations.

Mais ce sont là des ouvrages considérables qui, indispensables à qui veut approfondir ce sujet, peuvent rebuter le commençant par leur richesse même ; ils supposent déjà chez le lecteur un bagage scientifique assez considérable, pour qu'il puisse tirer profit de cette étude.

Le livre de M. Henry, d'ailleurs plus modeste, trouve naturellement sa place à côté de ces grands traités : c'est un résumé facile à lire, débarrassé des faits non indispensables, mais assez complet pour donner une idée nette de cette théorie des fonctions elliptiques, réduite à ses éléments ; peut-être regrettera-t-on que l'auteur n'ait pas indiqué quelques applications élémentaires à la mécanique et à la théorie des nombres ; mais tel qu'il est, cet ouvrage est appelé à rendre de réels services aux étudiants et à ceux qui, n'ayant pas le loisir de pousser plus loin leurs recherches, ont besoin de connaître les fondements de cette théorie ; ayant lu ce résumé, on n'éprouvera aucune difficulté à parcourir les grands traités, dans lesquels on ne risquera pas de s'égarer au milieu des longs développements.

Une analyse succincte fera mieux comprendre le plan de l'ouvrage.

Dans une première partie, l'auteur traite des périodes en général, et, après avoir établi qu'une fonction uniforme a au plus deux périodes dont le rapport est imaginaire, il indique comment on peut décomposer le plan en réseau de parallélogrammes, ce qui le conduit à énoncer le problème de la transformation, à propos duquel il établit que la transformation de degré n se ramène à une série de quatre transformations plus simples.

Cette partie se termine par des théorèmes généraux sur les zéros et les infinis des fonctions elliptiques et, en particulier, le théorème de Liouville.

La seconde partie est consacrée à l'étude de la fonction $p(u)$, donnée d'abord sous forme de série à double entrée, puis comme solution de l'équation différentielle.

$$\left(\frac{dz}{du}\right)^2 = 4z^3 - g_2 z - g_3.$$

Les fonctions $\zeta(u)$ et $\sigma(u)$ sont introduites

Digitized by Google

à l'aide de la fonction $p\,(u)$; peut-être était-il préférable de suivre la méthode inverse, la fonction elliptique σ s'introduisant aisément pour la construction d'une fonction elliptique quelconque. Après avoir montré l'application à l'intégration des fonctions elliptiques, l'auteur aborde le problème de l'addition et de la multiplication de l'argument pour la fonction $p\,(u)$, ainsi que celui de la division, en introduisant les polynômes $\psi_n\,(u)$.

L'étude de cette fonction se termine par la division des périodes, ce qui donne pour $p\,(u)$ la solution du problème de la transformation.

La troisième partie est consacrée à l'étude des fonction $\mathrm{sn}\,u$, $\mathrm{cn}\,u$, $\mathrm{dn}\,u$; la première étant définie par la relation

$$\mathrm{sn}\,u = \frac{1}{\sqrt{p\,u - c_1}}$$

les deux autres par les relations

$$\mathrm{cn}\,u = \sqrt{1 - \mathrm{sn}^2 u},$$

$$\mathrm{dn}\,u = \sqrt{1 - k^2 \mathrm{sn}^2 u},\ \mathrm{cn}\,0 = -1,\ \mathrm{dn}\,0 = 1;$$

Ces dernières étant introduites pour la symétrie des formules.

Les zéros, les pôles, les périodes de ces fonctions, ainsi que leurs principales propriétés sont déduites des relations précédentes et des propriétés de $p\,(u)$; la formule d'addition de $\mathrm{sn}\,u$ fournit l'intégrale de l'équation d'Euler.

La dernière partie traite des fonction θ de Jacobi, ainsi que des expressions de $p(u)$, $\mathrm{sn}\,u$, $\mathrm{cn}\,u$, $\mathrm{dn}\,u$ au moyen de ces fonctions, grâce auxquelles on peut calculer aisément les valeurs de ces fonctions qui correspondent à un argument donné; on en déduit aisément les valeurs des invariants de $p(u)$ exprimés en fonction des périodes.

GRÉVY,
Docteur ès sciences,
Professeur au Lycée d'Orléans.

CHRONIQUE

La cuisine électrique. — Dans un banquet donné par la Compagnie d'éclairage électrique de la Cité, à Londres, dans l'unique but de démontrer les avantages de la cuisine à l'électricité, le président, sir David Salomon, a indiqué que pour la cuisson des mets pour 120 convives, on avait employé 60 kilowatts-heures ayant coûté 25 francs.

Quant à la qualité de cette cuisine, on peut s'en rapporter à l'autorité du lord-maire qui s'est déclaré de tous points satisfait.

Accident dû aux courants de haute tension. — Les journaux anglais nous donnent les détails de ce fatal accident.

Robert Coleman, ouvrier électricien, travaillait le 25 février dernier, à nettoyer, avec un chiffon d'étoffe, des commutateurs dans une sous-station de la *Bristol Corporation Electric Light Works;* il avait la main droite protégée par un gant en caoutchouc, lorsque son attention fut détournée par l'arrivée d'une personne à laquelle il adressa la parole : ce faisant, il toucha accidentellement de sa main gauche, *seule*, un coupe-circuit, et reçut la presque totalité de la différence de potentiel de la canalisation primaire, soit 2 000 volts. On essaya, mais en vain, de pratiquer la respiration artificielle; aucun effort ne parvint à le ranimer. Dans l'enquête qui suivit, M. Proctor, ingénieur, et quelques témoins, expliquèrent au coroner l'accident et ses causes. Le courant partait de la station centrale, près du pont Saint-Philippe, sous une pression de 2 000 volts, et passait à la sous-station, dans des coupe-circuits mobiles montés sur des crochets de porcelaine. Coleman avait l'habitude de les démonter pour les nettoyer; maintes fois, il avait accompli son ouvrage sans accident, bien qu'il l'effectuât toujours quand le courant passait. M. Proctor fait remarquer que cela était indispensable, et qu'il n'était pas possible d'interrompre la marche des machines pendant ce nettoyage, étant donné qu'une trop longue interruption dans le service des quinze sous-stations de Bristol et de Clifton, aurait présenté de sérieux inconvénients. Coleman le savait, et la preuve, dit-on au coroner, c'est qu'il avait pris la précaution d'isoler sa main droite avec le gant réglementaire. Quant aux

Digitized by Google

autres règles à suivre, on les lui avait plusieurs fois répétées, et s'il les avait suivies, aucun accident ne pouvait se produire.

On suggère, à ce propos : 1° qu'il est indispensable de protéger les deux mains par des gants de caoutchouc ; 2° que l'on pourrait employer des brosses à manches isolants pour le nettoyage des appareils en service ; 3° qu'il y a lieu, enfin, d'imposer aux ouvriers de nouvelles règles définitives et plus minutieuses dans leurs détails.

Statistique des stations d'électricité en Allemagne. — D'après l'*Elektrot. Zeitsch.*, nous donnons ci-dessous le résumé de la statistique des stations d'énergie électriques actuellement en fonctionnement, en construction ou en projet en Allemagne.

SYSTÈMES	NOMBRE de stations	PUISSANCE des machines	PUISSANCE des batteries	PUISSANCE totale
Courant continu avec accum.	80	14388	4459	18847
Courant continu sans accum	40	11621	—	11621
Courant alternatif.	15	4208	—	4208
Courants polyphasés. . . .	8	2858	—	2858
Systèmes mixtes :				
C^t polyph. et C^t cont. avec acc.	2	646	32	678
C^t altern. prim. C^t cont. avec accum. secondaire.	1	99	68	197
Court continu et court altern.	2	76	—	76
Totaux. . . .	148	33896	4589	38485

Ces 148 stations se répartissent entre 135 localités.

FORCE MOTRICE	NOMBRE de stations	PUISSANCE totale des machines
Vapeur.	80	27290
Hydraulique	44	3938
Gaz	5	265
Air comprimé.	1	14
Electromoteurs.	3	126
Systèmes mixtes :		
Vapeur et hydraulique	11	893
Gaz et hydraulique	1	30
Vapeur et gaz	3	1311
Totaux.	148	33897

Lampes à incandescence de 50 watts. .	493081
Lampes à arc de 10 ampères.	12357
Moteurs, chevaux.	5635

Nombre des stations actuellement en cours de construction, ou dont la construction est décidée : 34.

Volant de sûreté. — L'explosion du volant d'une machine sous l'action de la force centrifuge est certainement un des accidents d'usine les plus justement redoutés. Suivant l'*Engineer*, un ingénieur anglais, M. Shorps, propose un mode de construction de volants qui offrirait une grande sécurité.

La jante du volant, dans ce système, serait constituée par un grand nombre de segments maintenus par des bras analogues aux rais des roues de vélocipèdes et au nombre de 32 ou de 64 suivant les dimensions du volant. Chacun de ces rais, dont le diamètre serait de 25 à 50 mm., entourerait le moyeu sur le tiers ou au plus la moitié de la circonférence ; ses deux extrémités seraient fixées sur deux segments de la jante au moyen de parties filetées et d'écrous, ce qui permettrait de régler la tension de l'ensemble du système et de la rendre uniforme. Lorsqu'un volant ainsi construit viendrait à tourner à des vitesses anormales, il ne pourrait pas se produire de rupture sans que l'on en fût prévenu d'avance par un allongement notable des rais et, par suite, une augmentation du diamètre du volant.

L'économie de la traction électrique. — La question de l'économie de la traction électrique sur les locomotives à vapeur pour l'exploitation des chemins de fer urbains, a été traitée au dernier Congrès de la Société américaine des ingénieurs mécaniciens. M. Parsons y a fourni une série de chiffres intéressants dont nous réunissons les principaux dans le tableau suivant qui indique la quantité de charbon brûlé par tonne-mille sur les chemins de fer aériens de New-York (Monhattan) et de Brooklyn comparée à celle consommée sur trois lignes électriques.

Traction électrique.	Aérien de Liverpool. .	188 grammes.
	Intra-mural de Chicago.	224 —
	City and South London.	273 —
Traction à vapeur. .	New-York (trains légers)	275 —
	Brooklyn — —	299 —
	Monhattan (tr. lourds).	239 —
	Brooklyn —	238 —

On constate donc que les lignes électriques réalisent une notable économie de charbon qui

Digitized by Google

est encore plus sensible si l'on tient compte de la qualité de charbon employé (qualité inférieure à Liverpool, anthracite de bonne qualité à Brooklyn) et du poids des trains (à Liverpool 42 tonnes et à Brooklyn 91 tonnes).

L'aluminium et l'hygiène. — On a beaucoup discuté sur la résistance plus ou moins grande de l'aluminium à l'attaque de divers liquides. M. Riche vient de faire une nouvelle étude de cette question, et les résultats obtenus ne sont pas en faveur de l'emploi de ce métal pour les vases destinés à contenir des aliments.

Tout d'abord, d'après M. Riche, l'aluminium est déjà attaqué à la longue par l'eau. Mais ce sont surtout ses alliages, en particulier ceux contenant de l'étain, qui décomposent l'eau sensiblement.

Si l'on veut fabriquer des vases et des ustensiles de cuisine avec l'aluminium, il serait donc important d'éliminer l'étain des soudures. On construit aussi des bateaux, des torpilleurs en aluminium, or, l'eau de mer attaque certaines sortes de ce métal.

L'attaque directe de l'aluminium par l'eau, à la température ordinaire, serait donc de nature à recommander des précautions spéciales dans certaines applications de ce métal.

Législation américaine en matière de brevets. — Dans un récent procès, la Cour suprême des États-Unis a rendu un arrêt important. D'après la loi américaine, toute patente délivrée pour une invention déjà brevetée à l'étranger expire en même temps que le brevet étranger.

Comme la durée de la patente américaine est généralement de dix-sept ans, cette durée se trouve réduite à quinze ans, s'il a été pris auparavant un brevet en France, par exemple. Il s'agissait de s'entendre sur la date que cette disposition prenait pour base. Le brevet américain commençait-il à courir à partir du jour du dépôt de la demande ou simplement à la date de la délivrance du brevet? Interprétée dans ce dernier sens, la loi serait désavantageuse pour les Américains, parce que l'examen d'une demande de brevet aux États-Unis est ordinairement très longue, et qu'il peut facilement arriver qu'un brevet étranger soit délivré pour une invention, avant que le brevet américain n'ait été accordé et quoique ce dernier ait été sollicité en premier lieu.

Malgré ces considérations, la décision de la Cour suprême interprète la loi en ce sens que le brevet américain doit expirer avec un brevet étranger *délivré* avant lui. Mais il est très probable que le Congrès de Washington introduira dans la loi américaine une modification qui permettra de prendre pour point de départ la date du *dépôt* et non celle de la *délivrance*.

Quoi qu'il en soit, cette décision présente, en ce sens, un intérêt pour l'industrie électrique, que par le fait, les deux brevets fondamentaux d'Edison relatifs aux lampes à incandescence et aux microphones sont immédiatement tombés et que ces deux importantes inventions se trouvent enfin, aux États-Unis, dans le domaine public.

Dépenses d'établissement et d'exploitation des réseaux téléphoniques. — Nous trouvons à propos du réseau de Vienne, quelques chiffres intéressants dans une lettre de M. F. Ross à l'*Elektrotechnische Zeitschrift*.

Par ligne reliée au bureau central, on compte comme coût de premier établissement :

Bureau central (bâtiment non compris) . . .	187,50	francs.
Réseau de lignes.	1050,00	—
Appareils et conducteurs chez l'abonné. .	200,00	—
Total.	1437,50	francs.
Comme dépenses d'exploitation pour salaires, loyer, comptabilité, réparations, on a. .	145,00	francs.
En comptant 10 0/0 d'intérêt et d'amortissement, il vient encore.	144,00	—
Total.	289,00	francs.

D'où il résulte, entre autres constatations, que les frais d'amortissement et de rémunération du capital représentent la moitié des dépenses totales.

L'électricité aux courses. — Après le jockey qui trouvait moyen d'exaspérer sa bête en lui assénant non des coups de cravache, mais des décharges électriques, nous avons vu l'électricité appliquée à l'éclairage électrique des champs de course. Voici maintenant qu'à Chicago, d'où nous viennent ces innovations, on se propose de corser les émotions de ce genre de sport en instituant le contrôle volant.

Comme il arrive trop fréquemment que les jockeys profitent du moment où ils sont loin des regards du public pour s'entendre et préparer ces

Digitized by Google

surprises qui n'ont qu'un très vague rapport avec l'amélioration de la race chevaline, on se propose tout bonnement de les faire filer par un contrôleur. Le moyen employé est un railway minuscule électrique suspendu le long de la piste. Un câble de suspension portant un fauteuil où le contrôleur sera commodément assis, et qui roulera sur ce câble, voilà la solution adoptée. Ce sera pour les coureurs, nous dit la *Revue des inventions nouvelles*, le « fauteuil de Damoclès ».

Sondes électriques. — Les sondes qu'on emploie le plus communément en matière de navigation maritime, les sondes classiques, sont essentiellement formées d'une ligne, autrement dit d'une corde repérée, partagée par des marques ou des nœuds en sections de longueur déterminée, et portant à son extrémité inférieure un plomb dont la base est garnie de suif. Quand la ligne est jetée à l'eau et qu'elle ne file plus, c'est qu'elle a touché le fond, et l'on n'a plus qu'à regarder la marque atteinte par l'eau pour savoir la profondeur au point où l'on est; quand on remonte la sonde, le suif du plomb s'est couvert de parcelles du sol sous-jacent, ce qui permet de vérifier assez bien le lieu où l'on se trouve. Il y a des petites sondes, longues de 30 à 40 mètres, munies d'un plomb de 3 à 4 kg., et des grandes, qui servent au large, portant un plomb de 30 à 40 kg., et présentant une grande longueur. Celles-ci sont les plus importantes et demandaient surtout des améliorations donnant un sondage sûr en vitesse.

Le sondeur Thomson, basé sur la loi de Mariotte, sorte de manomètre indiquant la profondeur par la pression exercée sur un tube, constituait déjà une réelle amélioration ; mais l'électricité devait rendre de réels services en la matière. Aussi existe-t-il déjà des sondes électriques fonctionnant très bien.

La *Revue scientifique* cite en premier lieu celle de M. Irish, qui est fort simple. Le plongeur métallique est creusé en son centre d'un conduit de 3 mm. de diamètre sur quelques centimètres de long, rempli de mercure ; un conducteur isolé flexible aboutit en haut du conduit, du tube si l'on veut. Si le plomb vient à toucher le fond, il se couche horizontalement, le mercure s'étend dans la longueur du tube et ferme le circuit d'une pile installée à bord. De plus, un indicateur à cadran indique le nombre de mètres filés. Malheureusement, en marche rapide, le plongeur peut s'incliner, se coucher et fermer le circuit comme s'il touchait le fond.

Le deuxième système est dû à M. Coffinières de Nordeck. Le plomb emporte un manomètre dont l'aiguille, en se déplaçant, rencontre des contacts et par conséquent ferme des circuits. Le manomètre est dans une boîte communiquant avec la mer par un orifice conique ; il est, de plus, logé dans la sonde, percée de trous afin que la vitesse ne produise pas de dépressions influençant à faux le manomètre. Le conducteur électrique venant du manomètre aboutit à un enregistreur à cadran dont l'aiguille est mue par un petit mouvement d'horlogerie. L'échappement de celui-ci est commandé par l'armature d'un électro-aimant. Si l'aiguille du manomètre tourne sous l'accroissement de pression, elle rencontre un contact et ferme le circuit; l'électro-aimant, sous le courant, attire son armature, déclanche le mouvement d'horlogerie et l'aiguille de l'enregistrement tourne d'une quantité donnée.

La même revue signale enfin la sonde qui est réglementaire sur les bateaux de guerre, celle de MM. Cooper et Wigzell. Le manomètre y est remplacé par le jeu de deux pistons à garniture complètement étanches, pistons retenus par des ressorts et ne pouvant être soulevés que par une certaine pression. La tige de ces pistons est munie d'une crémaillère dont chaque dent touche un contact et ferme un circuit sur l'enregistreur. Celui-ci est formé d'un électro-aimant dont l'armature marque un point, à chaque émission de courant, sur une bande de papier entraînée par un mouvement d'horlogerie. Comme repère, on a imaginé de disposer les dents de la crémaillère de façon que toutes les dix brasses il se marque deux points au lieu d'un. Enfin, au lieu du suif, MM. Cooper et Wigzell ont adjoint à leur sonde une petite dragueuse recueillant des échantillons du fond touché.

L'éclairage électrique à Alexandrie. — On pose en ce moment les conducteurs pour la distribution de l'électricité dans les rues d'Alexandrie. L'éclairage public est presque complètement installé, et il est probable qu'au moment où nous écrivons cet éclairage fonctionne déjà.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Digitized by Google

Tome III. Samedi 18 Mai 1895. 2e Année. — N° 20

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

A PROPOS
DE LA THÉORIE DE M. LARMOR(1)

§ 5. — ÉLECTRODYNAMIQUE DES CORPS EN MOUVEMENT

Ainsi que je l'ai dit précédemment, je ne peux poursuivre l'examen de la théorie de Larmor qu'en examinant ce qui se passe dans un champ électromagnétique où il y a des corps en mouvement.

Le plus simple paraît être de prendre comme point de départ les équations de Hertz (Grundgleichungen der Elektrodynamik für bewegte Körper, *Wied. Ann.* 41) et de les traduire ensuite soit dans le langage de la théorie de Fresnel adaptée, soit dans celui de la théorie de Larmor.

Mais une première question se pose. Ces équations, qui ne reposent, en somme, que sur quelques inductions hardies, peuvent-elles être acceptées telles quelles; cela est fort douteux.

Examinons en effet ces équations et commençons par transcrire les groupes (I*a*) et (I*b*) de Hertz (HERTZ, Ausbreitung der Elektrischen Kraft, Leipzig, Barth 1892, page 216). Je supposerai $\mu = 1$, de sorte que l'induction magnétique, comme la force magnétique sera représentée par le vecteur L, M, N; quant à l'induction électrique, elle aura pour composantes : $\varepsilon X, \varepsilon Y, \varepsilon Z$; les composantes du courant sont désignées par u, v, w, celles de la vitesse de la matière par α, β, γ. Je n'écris que la première équation de chaque groupe.

$$A\left[\frac{dL}{dt} + \frac{d}{dy}\left(\beta L - \alpha M\right) - \frac{d}{dz}\left(\alpha N - \gamma L\right) + \alpha\left(\frac{dL}{dx} + \frac{dM}{dy} + \frac{dN}{dz}\right)\right] = \frac{dZ}{dy} - \frac{dY}{dz}$$

$$A\left[\frac{d\varepsilon X}{dt} + \frac{d}{dy}\left(\beta\varepsilon X - \alpha\varepsilon Y\right) - \frac{d}{dz}\left(\alpha\varepsilon Z - \gamma\varepsilon X\right) + \alpha\left(\frac{d\varepsilon X}{dx} + \frac{d\varepsilon Y}{dy} + \frac{d\varepsilon Z}{dz}\right)\right] = \frac{dM}{dz} - \frac{dN}{dy} - 4\pi A u.$$

Dans un milieu diélectrique homogène, nous devons supposer : 1° que ε est constant; 2° que le courant est nul; 3° que le magnétisme permanent est nul ainsi que la densité électrique, ce qui s'écrit :

$$\frac{dL}{dx} + \frac{dM}{dy} + \frac{dN}{dz} = \frac{d\varepsilon X}{dx} + \frac{d\varepsilon Y}{dy} + \frac{d\varepsilon Z}{dz} = 0, \qquad u = v = w = 0.$$

Nos équations se simplifient alors beaucoup; elles se simplifieront davantage encore, si je suppose que le mouvement se propage par ondes planes dont le plan est perpendiculaire

(1) Voir l'*Eclairage Electrique* du 6 avril.

Digitized by Google

à l'axe des z, c'est-à-dire que toutes nos quantités sont fonctions seulement de z et de t; si je suppose en même temps que la vitesse de la matière est constante et parallèle à l'axe des z, d'où :

$$\alpha = \beta = 0 \qquad \gamma = \text{const.}$$

Nos équations deviennent alors :

$$(1) \qquad A\left(\frac{dL}{dt} + \gamma \frac{dL}{dz}\right) = -\frac{dY}{dz}$$

$$(2) \qquad A\varepsilon\left(\frac{dX}{dt} + \gamma \frac{dX}{dz}\right) = \frac{dM}{dz}.$$

Celles que je viens d'écrire sont les premières de chaque groupe, j'en déduis par symétrie la seconde équation du groupe $(1b)$:

$$(3) \qquad A\varepsilon\left(\frac{dY}{dt} + \gamma \frac{dY}{dz}\right) = -\frac{dL}{dz}.$$

De (1) et (3) on déduira :

$$(4) \qquad A^2\varepsilon\left(\frac{d^2L}{dt^2} + 2\gamma \frac{d^2L}{dt\,dz} + \gamma^2 \frac{d^2L}{dz^2}\right) = \frac{d^2L}{dz^2},$$

de sorte que la vitesse V de propagation des ondes sera donnée par l'équation :

$$A^2\varepsilon\left(V + \gamma\right)^2 = 1;$$

d'où :

$$V = \pm\sqrt{\frac{1}{A^2\varepsilon}} + \gamma.$$

Il résulterait de là que les ondes lumineuses devraient être entraînées *totalement* par un milieu diélectrique en mouvement. Cela est absolument contraire à l'expérience célèbre de M. Fizeau qui nous apprend que l'entraînement n'est que partiel; on devrait avoir :

$$V = \pm\sqrt{\frac{1}{A^2\varepsilon}} + \gamma\left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right).$$

Les équations de Hertz doivent donc être modifiées. Mais quelle modification faut-il y introduire? On peut être un peu embarrassé pour répondre à cette question. Aucune théorie optique ne rend compte d'une façon satisfaisante des phénomènes complexes qui se rattachent à l'aberration astronomique et à l'entraînement partiel de l'éther. Une de ces théories pourtant explique le plus important d'entre eux et rend compte des faits, non exactement, mais au degré d'approximation dont nous nous contentons ici, c'est-à-dire en négligeant la dispersion. Cette théorie est celle de Fresnel; malgré les doutes qui subsistent nous l'adopterons provisoirement.

Nous allons donc suivre la marche inverse de celle que nous avons adoptée jusqu'ici; nous allons écrire les équations de la théorie optique de Fresnel, et les traduisant ensuite dans le langage électrique, nous rechercherons si elles peuvent rendre compte des phénomènes de l'électrodynamique des corps en mouvement.

Encore la théorie de Fresnel peut-elle prendre diverses formes; nous adopterons par exemple les hypothèses sur lesquelles Helmholtz fonde sa théorie de la dispersion.

§ 6. — THÉORIES DE HELMHOLTZ

Représentons-nous deux milieux qui se pénètrent, l'éther et la matière; soit ρ la densité de l'éther, ρ_1 celle de la matière; soient ξ, η, ζ, les composantes du déplacement de l'éther; ξ_1, η_1, ζ_1 celles du déplacement de la matière.

Une particule d'éther est soumise à deux forces; l'une due à l'action de l'éther environnant et qui est la même que si la matière n'existait pas; soit P, Q, R cette force; l'autre due à l'action de la matière sur l'éther et dont les composantes seront :

$$B\left(\xi_1 - \xi\right), \qquad B\left(\eta_1 - \eta\right), \qquad B\left(\zeta_1 - \zeta\right).$$

Une particule de matière est soumise également à deux forces; l'une est la réaction de l'éther sur la matière et a pour composantes.

$$B\left(\xi - \xi_1\right), \qquad B\left(\eta - \eta_1\right), \qquad B\left(\zeta - \zeta_1\right).$$

L'autre est une sorte de frottement dont Helmholtz n'explique pas très bien l'origine et qui a pour composantes :

$$-C\frac{d\xi_1}{dt}, \qquad -C\frac{d\eta_1}{dt}, \qquad -C\frac{d\zeta_1}{dt}.$$

Digitized by Google

B et C sont des constantes qui dépendent de la nature du corps. Les équations du mouvement deviennent alors :

$$\rho \frac{d^2\xi}{dt^2} = P + B\left(\xi_1 - \xi\right),$$

$$\rho_1 \frac{d^2\xi_1}{dt^2} = B\left(\xi - \xi_1\right) - C\frac{d\xi_1}{dt}.$$

C'est à l'aide de ces équations que Helmholtz rend compte de la dispersion. Mais tel n'est pas notre but; nous voulons au contraire nous en tenir au premier degré d'approximation où on néglige la dispersion, et pour cela il faut supposer que B étant très grand, on a sensiblement $\xi = \xi_1$.

En ajoutant les deux équations précédentes et faisant $\xi = \xi_1$, il vient :

$$(5) \qquad \left(\rho + \rho_1\right)\frac{d^2\xi}{dt^2} = P - C\frac{d\xi}{dt}.$$

Il nous reste à voir ce qui arrive si on suppose l'éther immobile (sauf son mouvement de vibration bien entendu) et la matière en mouvement.

Nous désignerons par α, β, γ les composantes de la vitesse de la matière.

Nous représenterons par $\frac{\partial\xi_1}{\partial t}$ et par $\frac{\partial^2\xi_1}{\partial t^2}$, la projection sur l'axe des x de la vitesse et de l'accélération d'une molécule matérielle, de sorte que

$$\frac{\partial\xi}{\partial t} = \frac{d\xi}{dt} + \alpha\frac{d\xi}{dx} + \beta\frac{d\xi}{dy} + \gamma\frac{d\xi}{dz},$$

et en négligeant les carrés et les dérivées de α, β, γ :

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} = \frac{d^2\xi}{dt^2} + 2\alpha\frac{d^2\xi}{dx\,dt} + 2\beta\frac{d^2\xi}{dy\,dt} + 2\gamma\frac{d^2\xi}{dz\,dt}.$$

L'équation (5) devient alors :

$$(5 \text{ bis}) \qquad \rho\frac{d^2\xi}{dt^2} + \rho_1\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} = P - C\frac{\partial\xi}{\partial t}.$$

Il est aisé de voir d'abord que cette formule (5 bis) rend compte de l'expérience de M. Fizeau. Imaginons en effet que le milieu soit un diélectrique parfait (d'où C = 0) et que les ondes lumineuses soient planes, le plan de l'onde étant parallèle au plan des xy; alors ξ est fonction de z et de t seulement, et l'on a :

$$P = \lambda\frac{d^2\xi}{dz^2},$$

λ étant un cœfficient constant.

Supposons de plus que la vitesse de la matière soit constante et parallèle à l'axe des z, de sorte que

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} = \frac{d^2\xi}{dt^2} + 2\gamma\frac{d^2\xi}{dz\,dt} + \gamma^2\frac{d^2\xi}{dz^2}.$$

On a d'ailleurs;

$$\lambda = \rho V^2,$$

V^2 étant la vitesse de la lumière dans le vide, et l'équation (5 bis) devient :

$$\rho\frac{d^2\xi}{dt^2} + \rho_1\left(\frac{d^2\xi}{dt^2} + 2\gamma\frac{d^2\xi}{dz\,dt} + \gamma^2\frac{d^2\xi}{dz^2}\right) = \rho V^2;$$

d'où si l'on appelle pour un instant U la vitesse de propagation de l'onde :

$$\left(\rho + \rho_1\right)U^2 + 2\gamma\rho_1 U + \gamma^2\rho_1 = \rho V^2;$$

d'où en négligeant le carré de γ :

$$U = V\sqrt{\frac{\rho}{\rho + \rho_1}} - \frac{\rho_1\gamma}{\rho + \rho_1}.$$

Il est clair que

$$\frac{\rho + \rho_1}{\rho} = \varepsilon,$$

il vient donc finalement:

$$U = V\sqrt{\frac{1}{\varepsilon}} - \gamma\left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right).$$

On voit donc que cette théorie rend bien compte de l'entraînement partiel des ondes constaté par M. Fizeau.

Mais elle cessera de paraître satisfaisante si on veut l'appliquer aux phénomènes électriques.

Reprenons les équations (5 bis) en supposant C = 0, il vient

$$\rho\frac{d^2\xi}{dt^2} + \rho_1\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} = P,$$

et de même

$$\rho\frac{d^2\eta}{dt^2} + \rho_1\frac{\partial^2\eta}{\partial t^2} = Q,$$

$$\rho\frac{d^2\zeta}{dt^2} + \rho_1\frac{\partial^2\zeta}{\partial t^2} = R.$$

Digitized by Google

Comme on a :

$$\frac{dP}{dx} + \frac{dQ}{dy} + \frac{dR}{dz} = 0,$$

si l'on pose :

$$\theta = \frac{d\xi}{dx} + \frac{d\eta}{dy} + \frac{d\zeta}{dz},$$

il viendra :

$$(6) \qquad \rho \frac{d^2\theta}{dt^2} + \rho_1 \frac{\partial^2\theta}{\partial t^2} = 0;$$

les d *ordinaires représentent toujours les dérivées prises par rapport à* t *en supposant le point* x, y, z, *fixe et les* d *ronds, en supposant le point* x, y, z *entraîné par la matière.*

Pour nous rendre compte de la signification de cette équation, reportons-nous à ce que nous avons dit plus haut de la théorie de Fresnel adaptée. Nous avons vu que, dans cette théorie, aux points où il y a de l'électricité positive, la densité de l'éther va constamment en augmentant.

Or, d'après une formule bien connue, θ représente la condensation de l'éther, c'est-à-dire l'excès de sa densité actuelle sur sa densité normale. Dans cette manière de voir, la densité de l'électricité libre serait donc proportionnelle à $\frac{d\theta}{dt}$.

Il pourrait y avoir doute dans le cas où les corps chargés d'électricité sont en mouvement. On peut se demander alors si la densité de l'électricité doit être représentée par $\frac{d\theta}{dt}$ ou par $\frac{\partial\theta}{\partial t}$; mais le résultat que j'ai en vue n'en sera pas changé.

Supposons que $\alpha = \beta = 0$, $\gamma =$ constante ; l'équation (6) devient :

$$(6\text{ bis}) \qquad \left(\rho + \rho_1\right)\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2\rho_1\gamma\frac{d^2\theta}{dt\,dz} + \rho_1\gamma^2\frac{d^2\theta}{dz^2} = 0.$$

D'ailleurs $\frac{d\theta}{dt}$ et $\frac{\partial\theta}{\partial t}$ satisferont comme θ à l'équation (6 bis). Cette équation est contredite par l'expérience, l'électricité devrait être entraînée avec la même vitesse que la matière puisqu'elle reste attachée aux corps qui en sont chargés, et on devrait avoir

$$(6\text{ ter}) \qquad \frac{d^2\theta}{dt^2} + 2\gamma\frac{d^2\theta}{dt\,dz} + \gamma^2\frac{d^2\theta}{dz^2} = 0,$$

$\frac{d\theta}{dt}$ et $\frac{\partial\theta}{\partial t}$ satisfaisant comme θ à l'équation (6 ter).

Cette nouvelle théorie n'est donc pas plus satisfaisante que la première.

Mais ce n'est pas là la forme à laquelle Helmholtz s'est arrêté ; à la théorie de la dispersion que nous venons de discuter et qu'il avait développée avant le triomphe de la doctrine de Maxwell, il en a substitué une autre qu'il a exposée sur la fin de sa vie dans le tome 48 des *Annales* de Wiedemann (Elektromagnetische Theorie der Farbenzerstreuung). A ce mémoire de Helmholtz se rattache un travail de Reif (*Wied. Annalen* t. 50, Fortpflanzung des Lichtes), qui examine les conséquences de la théorie de Helmholtz précisément au point de vue qui nous occupe, c'est-à-dire au point de vue de l'entraînement partiel des ondes par un milieu en mouvement. Helmholtz suppose que dans les diélectriques, la polarisation électrique se décompose en deux parties ; la polarisation de l'éther dont nous désignerons les composantes par F, G, H, et la polarisation de la matière que nous désignerons par f, g, h, et que le savant allemand attribue à une sorte d'électrolyse incomplète.

Le courant de déplacement total a alors pour composantes :

$$\frac{dF}{dt} + \frac{df}{dt}, \qquad \frac{dG}{dt} + \frac{dg}{dt}, \qquad \frac{dH}{dt} + \frac{dh}{dt}.$$

L'énergie électrostatique localisée dans le volume $d\tau$ est d'autre part la somme de trois termes, un terme en $F^2 + G^2 + H^2$, un terme en $f^2 + g^2 + h^2$, et un terme en $Ff + Gg + Hh$.

En partant de ces hypothèses, Helmholtz rend compte des lois de la dispersion ; mais Reif a voulu voir comment on pourrait expliquer dans le même ordre d'idées, l'expérience de Fizeau, répétée par Michelson et Morley. Il a reconnu qu'il faudrait supposer que la ma-

Digitized by Google

tière transporte avec elle l'électricité qui engendre la seconde composante f, g, h de la polarisation, tandis que l'éther est entraîné partiellement en transportant avec lui l'électricité qui engendre la première composante F, G, H.

M. Reif a alors songé à modifier l'hypothèse de Helmholtz en supprimant dans l'énergie électrostatique le terme en $Ff + Gg + Hh$. Le résultat est alors beaucoup plus simple. L'entraînement de l'éther est alors nul.

Je transcris les équations de Helmholtz [*Sitzungsberichte* de Berlin, 1892, LIII, p. 1098 équations 12^b, 12^c, 12^d]. Seulement j'ai désigné par F, G, H, f, g, h, ce que Helmholtz représente par les lettres gothiques X, Y, Z, x, y, ζ; de plus je supposerai $\mu = \varepsilon = 1$; je représenterai enfin par les lettres romaines L, M, N les lettres gothiques correspondantes. Il vient ainsi :

$$(7) \qquad A\frac{dL}{dt} = \frac{d(H-h)}{dy} - \frac{d(G-g)}{dz},$$

$$(8) \qquad A\frac{d}{dt}\left(F + f\right) = \frac{dM}{dz} - \frac{dN}{dy},$$

avec les équations qu'on en déduirait par symétrie.

Avec l'hypothèse de Reif, il faut dans l'équation (7) et celles qu'on en déduit par symétrie remplacer $F - f$, $G - g$, $H - h$, par F, G, H.

Malheureusement il y a un obstacle dont Reif ne se tire pas mieux que Hemlholtz.

Si le milieu est en mouvement, la composante f, g, h est entraînée par la matière et l'équation (8) devient :

$$A\frac{dF}{dt} + A\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{dM}{dz} - \frac{dN}{dy}.$$

On déduit de là :

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{dF}{dx} + \frac{dG}{dy} + \frac{dH}{dz}\right) + \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz}\right) = 0.$$

L'expression

$$\frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz} = \sigma,$$

est proportionnelle à la densité de l'électricité.

D'autre part Helmholtz trouve :

$$F = a^2 f + m\frac{d^2 f}{df^2} + k\frac{df}{dt},$$

a^2, m et k étant des coefficients constants. Si les mouvements sont très lents les deux derniers termes disparaissent et il reste :

$$F = a^2 f,$$

d'où :

$$\frac{dF}{dx} + \frac{dG}{dy} + \frac{dH}{dz} = a^2\sigma,$$

d'où enfin :

$$a^2\frac{d\sigma}{dt} + \frac{\partial\sigma}{\partial t} = 0.$$

Si $\alpha = \beta = 0$, c'est-à-dire si la vitesse de la matière est parallèle à l'axe des z, il vient :

$$\left(a^2 + 1\right)\frac{d\sigma}{dt} + \gamma\frac{d\sigma}{dz} = 0,$$

ce qui veut dire que les charges électriques ne sont pas entraînées avec la matière, comme l'exige le principe de la conservation de l'électricité, mais qu'elle est entraînée avec une vitesse plus petite égale à

$$\frac{\gamma}{a^2 + 1}.$$

La théorie de Helmholtz conduisant sous ce rapport au même résultat que celle de Reif, l'une et l'autre me paraissent devoir être rejetées.

§ 7. — THÉORIE DE LORENTZ

M. Lorentz a imaginé une théorie électrodynamique des corps en mouvement fondée sur des principes entièrement différents et à certains égards plus satisfaisante.

L'hypothèse fondamentale est la suivante :

Un très grand nombre de petites particules portant des charges électriques qui leur sont invariablement liées, sont disséminés dans le volume des conducteurs et des diélectriques. Elles parcourent les conducteurs dans tous les sens avec des vitesses très grandes. Dans les diélectriques, au contraire, elles ne peuvent subir que de petits déplacements, et les actions des particules voisines tendent à les ramener

Digitized by Google

à leurs positions d'équilibre dès qu'elles s'en écartent.

Cette théorie rend compte du principe de la conservation de l'électricité, puisque l'hypothèse fondamentale n'est autre chose, après tout qu'une traduction de ce principe lui-même. Elle rendrait compte également de l'entraînement partiel des ondes.

Malheureusement il reste une difficulté grave : il n'y a plus égalité entre l'action et la réaction.

Pour nous en rendre compte, sans entrer dans le détail des calculs, il nous suffira d'un exemple simple. Considérons un petit conducteur A chargé positivement et entouré d'éther. Supposons que l'éther soit parcouru par une onde électromagnétique et qu'à un certain moment cette onde atteigne A, la force électrique due à la perturbation agira sur la charge de A et produira une force pondéromotrice agissant sur le corps A. Cette force pondéromotrice ne sera contrebalancée au point de vue du principe de l'action et de la réaction par aucune autre force agissant sur la matière pondérable. Car tous les autres corps pondérables peuvent être supposés très éloignés et en dehors de la région de l'éther qui est troublée.

On s'en tirerait en disant qu'il y a réaction du corps A sur l'éther ; il n'en est pas moins vrai qu'on pourrait, sinon réaliser, au moins concevoir une expérience où le principe de réaction semblerait en défaut, puisque l'expérimentateur ne peut opérer que sur les corps pondérables et ne saurait atteindre l'éther. Cette conclusion semblera difficile à admettre.

La théorie de Hertz ne donnait pas lieu à cette difficulté et était parfaitement d'accord avec le principe de réaction. Dans cette théorie et dans l'exemple simple qui nous occupait plus haut, il y aurait réaction du corps A non seulement sur l'éther, mais sur l'air où se trouve cet éther ; et, quelque raréfié que soit cet air, il y aurait égalité parfaite entre l'action subie par A et la réaction de A sur cet air.

Cela tenait à ce que dans la théorie de Hertz l'éther était entraîné totalement par la matière ; dans la théorie de Lorentz au contraire il n'en est pas de même, la réaction subie par l'air n'est qu'une très faible fraction de l'action subie par le corps A, et cette fraction est d'autant plus faible que l'air est plus raréfié.

En réfléchissant à ce point, on voit que la difficulté n'est pas particulière à la théorie de Lorentz et qu'on aura beaucoup de peine à expliquer l'entraînement partiel des ondes sans violer le principe de l'égalité de l'action et de la réaction. Nous verrons plus loin si la conciliation est possible.

THÉORIE DE J.J-. THOMSON

Dans ses « Recent Researches », J.-J. Thomson consacre un paragraphe à la propagation de la lumière dans un diélectrique en mouvement (§ 440, p. 543). Ce travail a été analysé en détail par M. Blondin dans la *Lumière Électrique* du 4 novembre 1893, page 201, et je n'y reviendrai pas.

Je me contenterai de rappeler les principaux résultats.

Soit V la vitesse de propagation de la lumière dans le diélectrique au repos ; soit v la vitesse de la matière du diélectrique, ou plutôt la projection de cette vitesse sur la dirction de la propagation des ondes ; soit v_0 la vitesse de l'éther dans le diélectrique qui serait nulle s'il n'y avait pas d'entraînement, qui serait égale à v si l'entraînement était total et qui aurait des valeurs intermédiaires si l'entraînement était partiel.

La vitesse de la lumière dans le diélectrique en mouvement sera

$$V + v_1 + v_2$$

v_1 et v_2 pouvant avoir diverses valeurs suivant les hypothèses.

Dans un conducteur en mouvement, il peut se produire deux sortes de forces électromotrices d'induction, la première provenant de la variation du champ magnétique, la seconde provenant du déplacement du conducteur dans ce champ.

De même dans un diélectrique en mouve-

Digitized by Google

ment, il doit se développer une force électromotrice d'induction due au déplacement de ce diélectrique ; elle dépendra évidemment de la vitesse de ce diélectrique ; mais est-ce de la vitesse de la matière du diélectrique ou de la vitesse de l'éther qui y est contenu? on peut faire les deux hypothèses. Dans le premier cas v_1 sera égal à $\frac{v}{2}$, dans le second à $\frac{v_0}{2}$.

D'autre part, si un diélectrique se déplace dans un champ électrique, s'il passe dans une région où l'intensité du champ est plus grande ou plus petite, sa polarisation variera ; on peut se demander si cette variation de la polarisation produira un courant de déplacement susceptible d'agir sur l'aiguille aimantée. On peut faire à cet égard plusieurs hypothèses.

On peut supposer que quand la polarisation électrique en *un même point de l'espace* demeure constante, il n'y a pas de courant de déplacement, quand même le diélectrique en se déplaçant passerait dans une région où cette polarisation est différente.

En d'autres termes, les composantes du courant de déplacement seraient :

$$\frac{df}{dt},\quad \frac{dg}{dt},\quad \frac{dh}{dt},$$

f, g, h étant les composantes du déplacement électrique en un point donné *fixé dans l'espace.*

On peut supposer ensuite que ces composantes sont

$$\frac{df}{dt},\quad \frac{dg}{dt},\quad \frac{dh}{dt},$$

f, g, h, étant les composantes du déplacement en un point donné invariablement lié à la matière du diélectrique mobile.

On peut supposer enfin que les composantes du courant sont $\frac{df}{dt}, \frac{dg}{dt}, \frac{dh}{dt}$, et que f, g, h sont les composantes du déplacement en un point donné invariablement lié à l'éther partiellement entraîné par le diélectrique mobile.

Dans le premier cas, v_2 est égal à o, dans le second à $\frac{v}{2}$, dans le troisième à $\frac{v_0}{2}$.

La discussion de J.-J. Thomson laisse donc place à un grand nombre d'hypothèses, mais aucune n'est satisfaisante ; la seule qui soit d'accord avec l'expérience de Fizeau $\left(v_1 = v_2 = \frac{v_0}{2}\right)$ soulèverait les mêmes difficultés que les théories de Helmholtz-Reif et de Lorentz.

On voit donc combien il est difficile de rendre compte par une même théorie de tous les faits observés ; les contradictions auxquelles toutes les hypothèses viennent se heurter paraissent tenir à une cause profonde. Dans tous les cas, un examen plus attentif est nécessaire, et j'en ferai l'objet d'un prochain article.

(*A suivre.*)

H. POINCARÉ,
de l'Institut,
Professeur de physique mathématique
à la Sorbonne.

LES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES DE BOSTON

Les compagnies de tramways qui desservent la ville de Boston et ses environs ont été parmi les premières qui ont substitué la traction électrique à la traction animale, et l'ensemble des installations de ce réseau est un des plus importants que l'on connaisse. Les résultats de cette longue et importante expérience présentent donc un intérêt particulier. Ils seront d'autant plus utiles aux ingénieurs français que l'exploitation des tramways dans Boston, en raison de la disposition irrégulière des rues étroites et tortueuses, se rapproche beaucoup de ce qu'elle serait dans une ville comme Paris. La figure 1 qui représente le plan de la voie près de Scollay Square indique à quel point l'exploitation y est compliquée et s'éloigne de la pratique ordinaire américaine, où les voies s'étendent en ligne droite sur de grandes longueurs.

La circulation, dans ces rues, est d'ailleurs très active ; les piétons et les voitures particulières les encombrent constamment ; pour-

Digitized by Google

tant, le nombre de voitures de tramways qui passent dans ces rues dépasse de beaucoup ce que l'imagination d'un Parisien peut rêver de mieux. A certains moments de la journée, il passe par heure, au coin de Boylston et Trémont Streets, 183 voitures dirigées vers le nord et 197 vers le sud; en tout, dans la journée, il passe en cet endroit 2 144 voitures dirigées vers le nord et 2 227 vers le sud; à 300 ou 400 m. plus haut, en face de Park Street Church, il passe par jour 2 600 voitures dirigées vers le nord et 2 135 vers le sud. Ce ne sont pas, d'ailleurs, des exceptions et, dans plusieurs points de la ville, dans Washington Street, par exemple, le nombre de voitures est à peu près aussi grand. Comme, outre cela, on est toujours sûr de ne jamais voir sur une voiture le fastidieux écriteau « Complet », on prend le « car », même pour de faibles trajets. Public et Compagnie, tout le monde y gagne.

Comme dans toutes les villes américaines, lorsque Boston s'est développé, le quartier du centre, c'est-à-dire celui qui se trouve dans les anciennes limites de la ville, a été presque exclusivement consacré aux affaires, et les quartiers d'habitation se sont éloignés dans

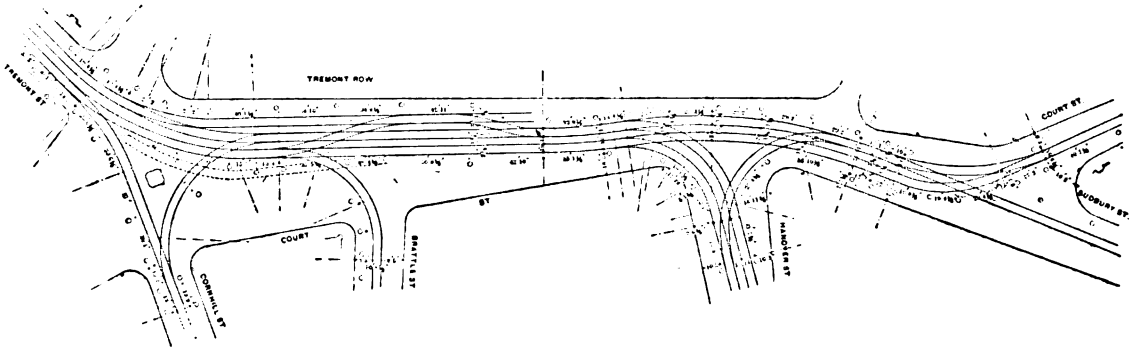


Fig. 1. — Plan du détail des voies.

les faubourgs; les progrès de la traction mécanique rapide et à bon marché ont eu, sur ce résultat, très important quant au bien-être des travailleurs, une influence prépondérante. Les lecteurs de ce journal le savent déjà. Quelques chiffres leur en feront encore mieux saisir toute l'importance.

Boston proprement dit, le territoire compris dans les limites primitives de la ville, contient à peine 175 000 habitants, à l'heure actuelle. A différentes époques, des villes ou des villages environnants ont été annexés à l'ancienne cité; ils sont encore connus au service des Postes sous leurs anciens noms : East Boston, South Boston, Dorchester, West Roxbury, Brighton, Charlestown, Roxbury. Ces sept districts ont une population totale d'environ 325 000 âmes, ce qui porte la population de la « Cité de Boston » à environ 500 000 habitants.

En réalité, cette population est d'au moins 1 000 000 d'habitants, car, dans un rayon de 16 km. environ autour de l'Hôtel de Ville, sur la colline de Beacon, Boston est entouré de 26 villes très coquettes et parfois très importantes où résident la plupart de ceux qui ont leurs occupations proprement dites dans le centre de la ville. La population de ces villes est d'environ 500 000 habitants.

Le diagramme de la figure 2 fera saisir, mieux que tous les chiffres, l'influence merveilleuse des facilités de transport sur le développement des villes de banlieue et sur le dépeuplement relatif des quartiers du centre. Les Compagnies qui ont, en quelque sorte, créé ce mouvement, ou l'ont tout au moins grandement favorisé, tirent de l'état de choses actuel, si favorable aux bonnes conditions d'existence des travailleurs, une source considérable de profits. Le nombre de voyageurs

Digitized by Google

transportés dans Boston et sa banlieue, tant par les chemins de fer que par les tramways, est énorme. Les tramways absorbent la plus

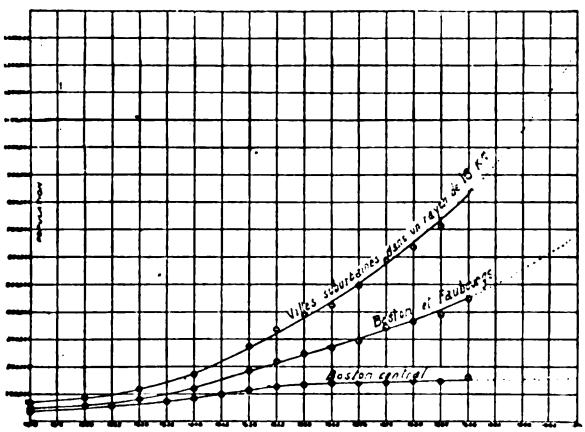


Fig. 2. — Diagramme indiquant l'accroissement annuel de la population de Boston, de ses faubourgs et des villes suburbaines.

grande part du trafic en raison des facilités particulières qu'ils offrent : départs fréquents, bas prix, arrêts dans les rues, vitesse presque aussi considérable que celle des

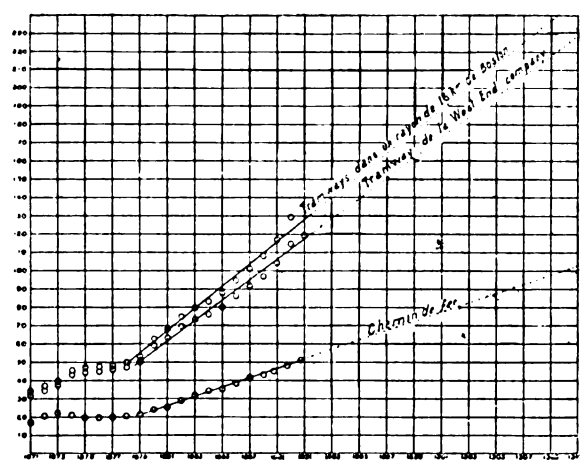


Fig. 3. — Diagramme montrant le nombre de voyageurs transportés annuellement dans Boston et sa banlieue. Les chiffres portés en ordonnées indiquent les millions de voyageurs.

trains de banlieue. Le diagramme de la figure 3 permet de suivre le développement du trafic ; on voit que les chemins de fer transportent annuellement 50 000 000 de passagers et les tramways 130 000 000. Ce nombre tend à augmenter très rapidement, et comme on approche, pour le quartier des affaires, du maximum de capacité possible, on parle d'établir un tramway en tunnel.

Deux Compagnies principales se partagent le trafic de Boston et des environs ; ce sont : la puissante Compagnie West End Street Railway Company et la Lynn and Boston Street Railway Company.

Nous étudierons successivement les installations de ces deux Compagnies, en nous bornant aux lignes générales. Nous nous proposons de revenir bientôt sur les détails de l'installation électrique et de son exploitation.

LA WEST END STREET RAILWAY COMPANY

Il y a dix ans, neuf Compagnies indépendantes exploitaient le territoire de Boston ; il n'en existe plus que deux à présent. Le 1er février 1887, quelques hardis capitalistes, intéressés dans le développement d'une vaste étendue de terrains en partie submergés, le long du bassin de la rivière Charles, dans la partie de la ville connue alors sous le nom de « West End », (extrémité ouest), formèrent la West End Street Railway Company, dans le but de fournir des facilités de transport qui devaient faire habiter ce quartier. Son capital n'était alors que de 400 000 fr. En moins d'un an, grâce à l'intelligence de ses organisateurs, cette Compagnie avait accompli la fusion de toutes les grandes Compagnies de tramways de Boston, comprenant une longueur de voies de plus de 310 km.!

La réorganisation de ce vaste réseau sur des bases plus larges fut immédiatement étudiée. La première pensée fut d'adopter la traction funiculaire qui venait de donner d'excellents résultats à San Francisco. Mais les progrès de la traction électrique attirèrent l'attention des directeurs qui décidèrent d'équiper une ligne importante, à titre comparatif, avec la traction à câble souterrain et avec la traction électrique à fil aérien. Cette expérience

Digitized by Google

détermina l'adoption de l'électricité sur tout le réseau.

La West End Company, en qualité d'avant-coureur dans cette partie de l'industrie électrique en grand, a dû supporter de lourdes charges et faire de coûteuses expériences ; elle a d'ailleurs libéralement fait profiter de son expérience les autres Compagnies et a, en quelque sorte, été une école pratique ouverte, à tous les ingénieurs.

Voie de roulement.

Le remplacement de la traction animale par la traction électrique et le développement considérable du trafic qui en est résulté ont d'abord entraîné des modifications nombreuses de la voie de roulement. Les voies légères qu'on employait jadis, ne peuvent résister à la fatigue qui résulte du passage de nombreuses voitures plus lourdes et marchant plus vite. On en est arrivé rapidement à employer des rails très lourds, jusqu'à 50 kg. au mètre courant. L'établissement de la voie de roulement est très important et, quand il est défectueux, peut être une source de dépenses inutiles considérables. Nous y insisterons donc avec quelques détails.

Les figures 4 à 12 représentent la section des rails employés sur les différentes parties de la voie. Celle-ci a une longueur totale de 416 km. et s'étend dans le centre de la ville et dans la banlieue ; elle comprend donc plusieurs genres de construction.

La figure 4 représente le rail ordinaire ou rail « Worcester », c'est un des meilleurs comme forme. Il est posé sur des longrines de 12,50 × 20 cm. ; les éclisses sont longues de 9,50 cm., larges de 11,50 cm. et épaisses de 1,6 cm. Ces plaques d'éclissage sont fixées aux longrines par 6 grands clous et par 4 clous qui traversent également les rails. Le rail de garde ou contre-rail, employé aux courbes avec le rail Worcester, est représenté en figure 5. La Compagnie West End estime que, eu égard au prix, ce rail doit être préféré partout où la fatigue de la voie n'est pas très grande, comme à l'entrée des dépôts ; quand une voiture entre au dépôt, en effet, elle est vide et marche lentement ; de plus, il n'y a pas, d'ordinaire, d'autre circulation de voitures en ces points. Les frais d'établissement de la voie, avec ce rail, sont d'environ un tiers du prix d'une voie en girder rail. Les lon-

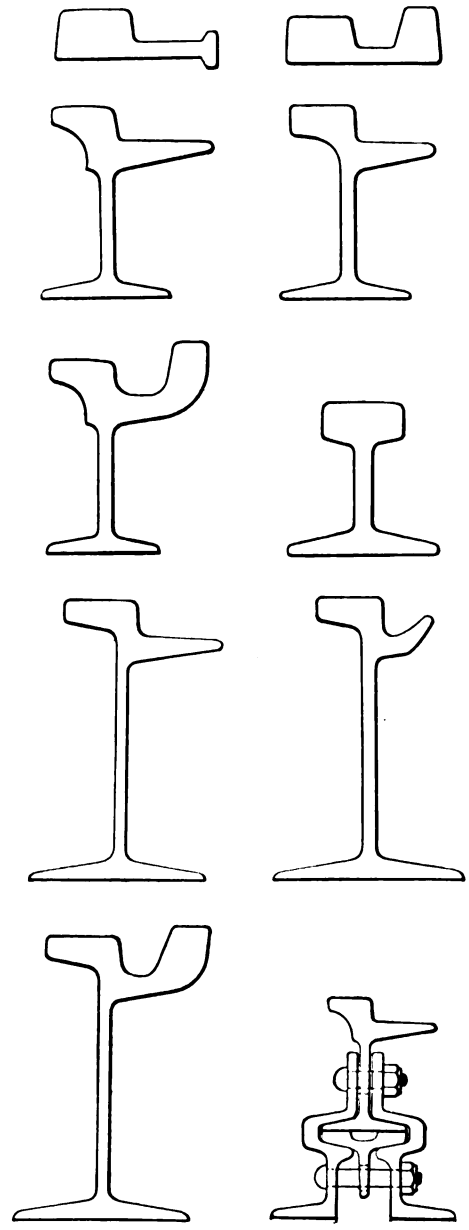


Fig. 4 à 13. — Types des rails et joints employés à Boston.

Digitized by Google

grines sont posées sur des traverses distantes de 1 m. 20 les unes des autres. Les contacts électriques entre les bouts de rails contigus se font par le rebord inférieur de droite.

Le girder rail de 15 cm. (fig. 6) a été posé il y a quatre ans ; il est monté sur des longrines posées sur des traverses distantes de 1,83 m., d'axe en axe. Environ 40 km. de voies sont établis avec ce genre de rails. Les éclisses sont représentées en figure 13.

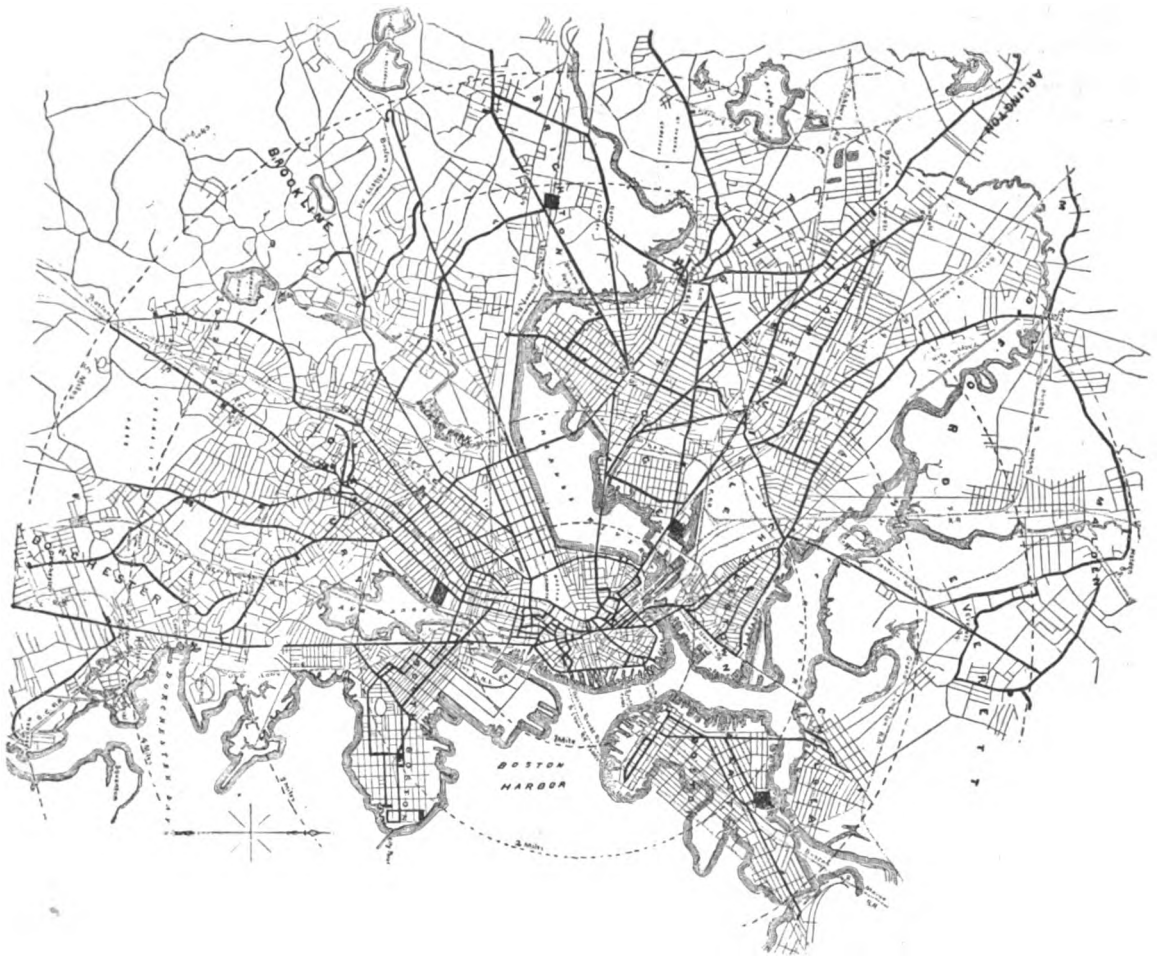


Fig. 14. — Plan du réseau de la West End street Railway Company.

L'ensemble a donné pleine satisfaction partout où le trafic n'est pas extrêmement intense. Cependant, la Compagnie West End a décidé de n'employer, à l'avenir, que des rails plus lourds et plus hauts (23 cm. de hauteur). Le rail de section représenté en figure 7, qui est un peu plus faible au coude, a donné des résultats tout aussi favorables. Avec ces deux sections de rails, on emploie, aux courbes, le rail de garde représenté en figure 8.

La figure 9 représente le modèle de rail à T employé dans certaines parties de la voie. Son poids linéaire est de 37,5 kg. par mètre courant.

Enfin, les figures 10, 11 et 12 représentent respectivement les sections des girder rails, des rails à ornière et des rails de garde qui seront exclusivement adoptés par la Compa-

Digitized by Google

gnie, pour toutes les nouvelles constructions, excepté dans les réserves et à l'entrée des dépôts. Leur hauteur commune est de 23 cm.

Ces rails sont montés sur des traverses mesurant 14 × 20 × 198 cm. et posées à 91,50 cm. de distance les unes des autres. Ils y sont fixés par des chaises en fonte de fer représentées en figure 15 ; on emploie une chaise par rail et par traverse ; chacune pèse 7 kg. environ ; elles sont fixées par trois clous carrés de 1,5 cm. environ de côté et longs de

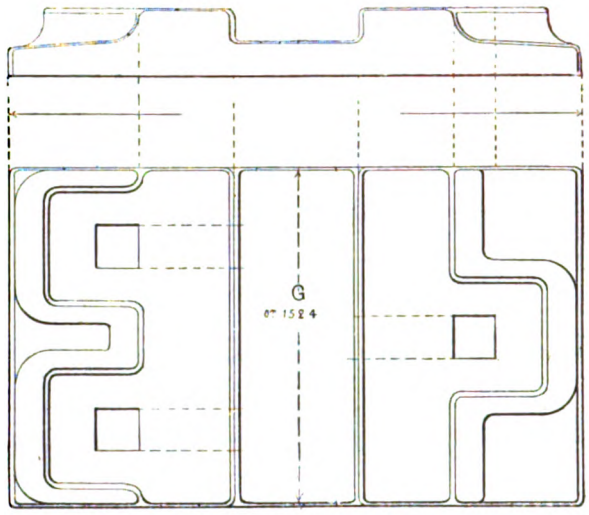


Fig. 15. — Éclisses des girder rails.

14 cm. L'écartement normal des rails est de 1,43 m. (4' 8 1/2").

Les éclisses sont des plaques de 91,5 cm. fixées par 12 boulons de 2,5 cm. et pesant, complètes, 45,450 kg.

Les traverses en bois sont posées dans le sol soigneusement foulé condition première d'une bonne construction. Elles doivent être placées sur du gravier et partout où l'on rencontre de la glaise, on l'excave et on la remplace par du gravier, sur une profondeur de 30 cm. On éprouve peu de difficultés du chef des traverses ; quand la construction est bonne, elles durent de dix à douze ans. On en a même retiré, au bout de vingt-sept ans de service, qui étaient en très bonnes conditions.

Les rails sont entretoisés tous les 5 pieds (1,50 m.) ; les tirants ont dû être successivement pris de plus en plus forts. A l'heure actuelle, ils pèsent 8,400 kg.

La durée d'une construction de ce genre dépend de l'usure du rail, et est évaluée, pour les parties de la voie les plus fréquentées, à cinq ans environ. La durée moyenne des rails de garde est évaluée aussi à cinq ans. Dans quelques endroits pourtant, ces rails durent à peine un an et demi, tandis que dans d'autres points, sous des conditions apparemment identiques, ils dureront six ou huit ans. L'inclinaison transversale des rues influe beaucoup sur l'usure des rails, tant en courbe qu'en alignement droit. Sur les courbes de faible rayon, au centre de la ville, les rails sont régulièrement huilés une fois ou deux par jour.

L'expérience a prouvé la supériorité des rails plats sur les rails à ornière, surtout dans les rues étroites ; ils offrent en effet une plus grande surface aux roues des voitures ordinaires qui abîment moins la voie. Le rail à T n'est employé que dans les réserves.

La Compagnie West End avait employé des boîtes en fonte avec couvercles, à chaque éclissage des rails extérieurs, afin de faciliter l'entretien des joints, points faibles de la voie ; l'expérience a démontré leur inutilité. Le gravier les pénètre peu à peu, et comme on ne peut les monter que sur un côté des rails seulement, il était quand même nécessaire d'enlever le pavage sur les côtés intérieurs de la voie. Il était aussi très difficile de maintenir le pavage en bonnes conditions autour de ces boîtes de jonction.

Nous devons dire également quelques mots de la soudure des rails.

En juin 1893, la Compagnie décida d'essayer le soudage des rails ; plusieurs kilomètres de voies avec des rails de différentes sections furent mis en essai. Une partie de cette voie en rails légers en partie usés fut bientôt hors d'usage. Six kilomètres en rails plus lourds se maintinrent jusqu'à l'hiver suivant, époque à laquelle ils se séparèrent en 80 points différents. La plupart des brisures étaient voisines

Digitized by Google

des soudures, à 10 ou 20 cm. de celles-ci : quelques-unes pourtant s'étaient produites au milieu du rail. Les différents tronçons furent soudés à nouveau par des procédés perfectionnés, et la voie se maintint en état jusqu'à l'hiver dernier; à cette époque, 38 brisures se produisirent.

Le roulement est très doux sur les voies soudées, et la voie paraît se maintenir en parfait état : tandis que les rails étaient très inégalement usés avant la soudure, ils sont maintenant très unis, toutes les irrégularités d'usure ont été détruites.

Un fait intéressant à constater, c'est que les rails ne se brisent pas à intervalles réguliers, comme on aurait pu le supposer, mais que tandis que sur une faible longueur, de 20 à 30 m., on observe parfois 3 ou 4 brisures, par contre, des longueurs de 800 à 1 000 mètres se conservent intactes.

D'une façon générale, les résultats ont été plutôt satisfaisants, et les ingénieurs de la Compagnie estiment que les accidents qui se sont produits proviennent surtout de ce que le poids et la section des rails en expérience étaient mal choisis.

Circuit électrique.

Avant de quitter la voie de roulement, occupons-nous de l'éclissage électrique des rails, ce qui nous conduira à nous occuper du réseau de distribution.

L'éclissage électrique des rails employé actuellement par la West End Company, a été

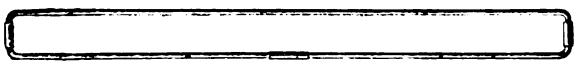


Fig. 16. — Joint électrique des rails.

imaginé par un de ses anciens ingénieurs, M. R.-C. Brocon. Il consiste essentiellement en une boucle de fil 00 (0,0092 m.) en cuivre étamé, longue de 2 m. environ; chacun des fils est muni de manchons en acier doux étamé longs de 4 cm. environ ; les rails sont percés au moment de l'éclissage, afin que les perforations n'aient pas le temps de s'oxyder, et les manchons sont insérés de force, à l'aide d'un marteau, dans ces perforations. Les extrémités du fil sont réunies par un manchon en cuivre long de 10 cm. dans lequel elles sont soudées. Deux de ces joints sont employés à chaque rail ; la section totale de cuivre offerte au passage du courant correspond donc, au total, à 16 fils 00, offrant une section totale de 2 128 000 circular mills.

En outre, des connexions transversales en fil de cuivre offrant une section de 500 000 circular mills, relient les différents rails, à des distances assez rapprochées.

Des feeders aériens sont également employés pour le retour.

Tous les fils de trôlet sont suspendus par des fils transversaux. Les poteaux sont placés sur les trottoirs; la majeure partie de ces poteaux sont en fer, tubulaires ; un certain nombre sont en bois de pin; ils sont espacés les uns des autres de 43 mètres.

Les fils transversaux sont en fer galvanisé; les fils tendeurs aux courbes, et les fils de garde sont du même modèle, mais d'un plus faible diamètre.

Le fil de trôlet est un fil de cuivre étiré dur, n° 0 (0,00825 m.); sa hauteur moyenne, au dessus de la voie, est de 5,5 m.; le fil de garde est situé au-dessus, à 45 cm.

Les principaux modèles d'isolateurs sont représentés en figure 17; les aiguillages sont représentés en figure 18.

Les fils de trôlet sont divisés en un nombre de sections assez considérable : 500 environ.

Le voltage, à la station, est de 550 volts, et la perte moyenne en ligne est de 33 volts; 17 volts sont réservés pour la perte dans le circuit de retour.

Un décret législatif a forcé la Compagnie à placer des feeders dans des conduits souterrains sur toute l'étendue de son réseau central. Tous ces feeders ont une section de 500 000 cir. mil.; l'installation revient de 17 à 20 francs par mètre de câble, y compris les feeders, les fils de retour, les fils téléphoniques et les conduites. L'encombrement du sous-sol de Boston

Digitized by Google

en rend l'établissement particulièrement difficile et nécessite des modifications continuelles dans la disposition des conduites et des trous d'homme. Le drainage ne se fait pas dans

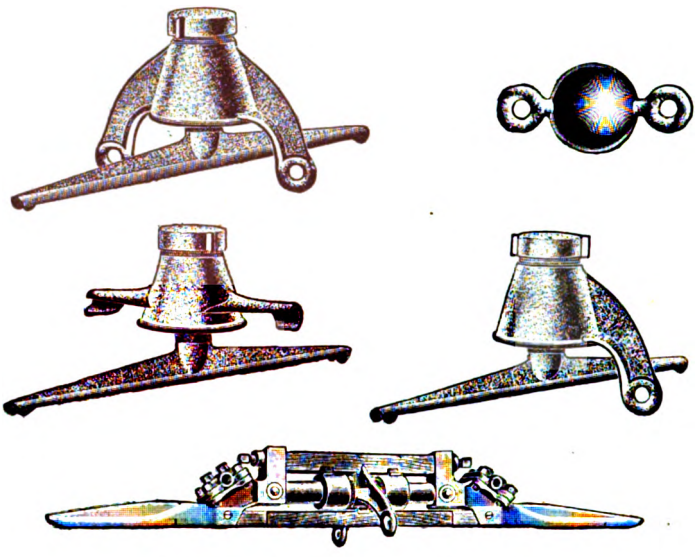


Fig. 17. — Isolateurs des fils de trôlet.

les égouts; dans les rues ordinaires, le fond est recouvert de béton, et dans les terrains très secs, la terre est simplement foulée; un court tuyau de drainage vertical est implanté dans le sol et rempli de pierres. Un certain nombre de rues, à Boston, sont si basses que le fond des conduites est au-dessous du niveau de la marée haute; cela a forcé à adopter une forme spéciale de conduite hermétique; le sol de ces conduites est d'abord recouvert de deux couches de planches, dont les joints sont goudronnés; sur ces planches, on place trois couches de papier goudronné, et, sur le tout, 15 cm. environ de béton. Les murs de ces conduites sont doubles; l'extérieur est épais de 10 cm., et l'intérieur de 23; entre ces deux murs, on a disposé 3 couches de papier goudronné.

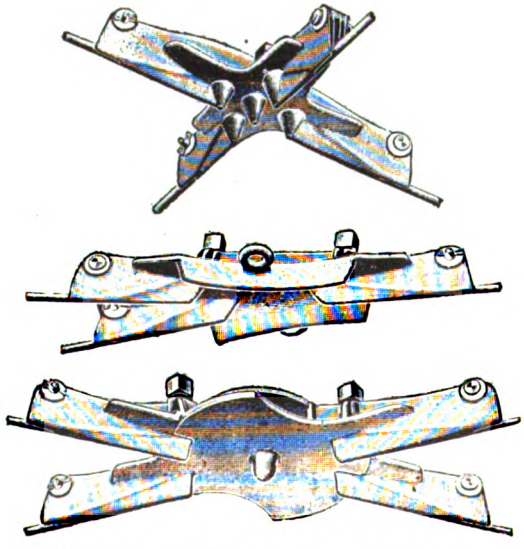


Fig. 18. — Aiguilles et croisement de voies pour les fils de trôlet.

L'eau qui s'accumule dans les trous d'homme est pompée aussi souvent qu'il est nécessaire, et jusqu'à deux fois par semaine. Presque toute l'eau provient des conduites; elle filtre dans celles-ci et s'écoule dans les trous d'hommes.

Stations centrales.

Quatre stations centrales alimentent le réseau. Ce sont les suivantes :

Digitized by Google

	Moteurs	Dynamos	Capacité maxima en ampères
Station principale.	6	18	13 500
— — (auxiliaire).	10	40	4 000
Station d'East Cambridge. . .	3	7	5 500
Station d'Allston	4	12	1 600

Enfin une nouvelle station a été récemment installée à East-Boston, pour alimenter le réseau de ce quartier, indépendamment du réseau général. Elle a une capacité de 1000 chevaux. Nous donnerons les détails principaux de chacune d'elles.

La station d'East-Boston est la seule qui emploie des dynamos accouplées directement aux moteurs ; ceux-ci sont du type compound à condensation ; les cylindres, montés en tandem ont une course commune de 106 cm. environ et des diamètres respectifs de 30 et 55 cm. Leur puissance nominale est de 250 chevaux, à 120 tours à la minute, avec une pression de vapeur de 10,5 kgr. par cm². L'admission peut être modifiée pour porter la puissance de chacun des moteurs à 400 chevaux. Les volants ont 4,25 m. de diamètre, et pèsent 11 350 kgs chacun.

Les génératrices sont du type multipolaire de la General Electric Company, et ont chacune une puissance de 200 kilowatts.

Le tableau de distribution du type à panneaux contient les commutateurs principaux, les coupe-circuits automatiques, les parafoudres, les commutateurs de l'excitation, les rhéostats, etc. Il y a, en outre, un quatrième panneau muni de deux wattmètres et d'un ampèremètre de Weston. Cette station et celle d'East Cambridge sont les seules qui soient munies des wattmètres.

La vapeur d'échappement des moteurs passe dans une conduite générale et de là dans le condenseur ; les chaudières sont alimentées par l'eau chauffée par cette vapeur d'échappement.

Il y a quatre chaudières verticales de Corliss, chacune d'une puissance de 180 chevaux.

Cette station alimente 26 voitures. Pendant la plus grande partie de la journée, un seul groupe suffit au service ; un second est mis en service aux heures de grande charge. Le troisième sert de réserve.

La station principale, dans la rue Albany, contient 6 moteurs Reynolds-Corliss, à triple expansion ; les diamètres respectifs des cylindres sont de 5891 et 150 cm., leur course commune de 122 cm. Le volant de chaque moteur a 8,50 de diamètre et fait 73 tours à la minute. Ces moteurs sont disposés en une double rangée ; ils attaquent par courroies deux arbres de transmission placés entre les moteurs et s'étendant sur toute la longueur de l'usine. Les génératrices sont sur une galerie élevée au-dessus des arbres de transmission qui les attaquent par courroies.

Le tableau de distribution est sur une galerie élevée ; il a été installé l'année dernière. Il est disposé avec des doubles barres omnibus, en sorte que la station pourrait, à volonté, servir à la distribution à trois fils. A présent, ces deux barres omnibus sont reliées. Les connexions des dynamos au tableau sont faites au moyen de tiges solides de préférence à des câbles, parce qu'elles conservent mieux leurs positions que ceux-ci. A la sortie du tableau de distribution, elles se rendent à une rosace au centre de laquelle les feeders sont amenés, de façon qu'une dynamo quelconque puisse être reliée à un feeder quelconque.

La station auxiliaire forme une partie de la station principale ; ce fut une des premières installées ; elle n'est employée qu'en cas de fortes charges. Elle comprend 10 moteurs compound de Mac Intosh et Seymour, sans condensation, attaquant chacun, par courroies, quatre dynamos bipolaires de 100 ampères.

La station d'East Cambridge est à peu près identique à la station principale ; elle ne contient que 3 moteurs. La disposition de l'arbre de transmission est à peu près la même que celle que nous venons de décrire ; seulement, l'arbre est divisé en plusieurs parties et muni d'embrayages à frottement, afin qu'une section ou une génératrice quelconques puissent être supprimées à volonté.

La station d'Allston a été la première installée par la Compagnie, elle est équipée avec

Digitized by Google

des moteurs à grande vitesse qui attaquent directement, par courroies, des dynamos bipolaires de 80 kilowatts chacune. A l'époque de leur construction c'étaient les plus puissantes qui aient été construites pour le service des tramways électriques! On a fait des progrès depuis, si l'on en juge par la puissance des unités génératrices.

Du reste, si la Compagnie avait à reconstruire aujourd'hui ses usines, elle introduirait de nombreuses modifications indiquées par l'expérience. Les dynamos seraient couplées directement ; la disposition des moteurs sur deux rangées, le montage des dynamos sur une galerie élevée entraînent une perte dans les canalisations de vapeur et un surcroît de main d'œuvre coûteux. Les ingénieurs estiment que la perte de puissance due aux frottements des arbres et transmissions est de 15 p. 100 supérieure à ce qu'elle serait si les dynamos étaient montées directement sur l'arbre des moteurs.

Nous reviendrons sur l'exploitation de ces grandes usines ; aujourd'hui, il nous suffira de dire que les variations de voltage sont enregistrées dans chaque station ; les diagrammes sont soumis chaque matin au conducteur en chef des dynamos, ainsi que la table de lectures des ampèremètres, prises tous les quarts d'heure. De ces documents, on déduit le débit moyen et le débit maximum. Celui-ci a atteint, le 10 décembre, 26 450 ampères ; le même jour, pendant une heure, le débit moyen fut de 22 860 ampères ; 720 voitures étaient alors en service.

Ajoutons qu'un bureau d'essais spécial a été établi depuis l'introduction des feeders souterrains, afin de suivre l'isolement de ceux-ci; ce laboratoire sert aussi au tarage des instruments, à l'essai des armatures, de l'isolement, etc.

La Compagnie a 23 dépôts de voitures répartis en 9 sections. Autant que possible les voitures semblablement équipées sont remisées dans un même dépôt, afin de faciliter le travail des ouvriers chargés de la surveillance et de l'entretien du matériel roulant, et de diminuer autant que possible la quantité de matériaux qu'il faut garder dans chaque dépôt pour les réparations courantes, qui se font sur place immédiatement.

Les réparations importantes aux caisses, aux trucks ou aux organes électriques se font dans un atelier spécial parfaitement équipé au point de vue mécanique; comme beaucoup de grands établissements industriels, en Amérique, la West End possède une fonderie de cuivre; mais elle achète au dehors les pièces en fer fondu. Elle fabrique elle-même aussi les protecteurs (fenders) placés à l'avant des voitures; ils reviennent à 45 francs pièce. Tous les bâtiments de la Compagnie sont reliés par un réseau téléphonique qui comprend 103 appareils. Tous les conducteurs aboutissent dans le bureau central des téléphones de la ville, où un tableau spécial leur est attribué. L'intercommunication des bureaux entre eux et avec l'extérieur est ainsi assurée.

Matériel roulant

La Compagnie n'a pas moins de 1 705 voitures dont 841 ouvertes et 864 fermées; elle exploite aussi 606 voitures à chevaux. Les voitures fermées sont de plusieurs longueurs; en hiver, deux moteurs sont employés sur chaque voiture fermée; lorsque ces voitures sont à double truck, les deux moteurs sont placés sur le même truck. En été, un seul moteur suffit à la traction d'une voiture, soit ouverte, soit fermée; on se contente donc de retirer de sur les voitures d'hiver un des moteurs que l'on place sur les voitures ouvertes ; de la sorte, toutes les voitures peuvent être mises en service, et, suivant l'état de l'atmosphère, on fait sortir, soit les voitures ouvertes, soit les voitures fermées.

Environ 75 p. 100 des moteurs employés ont été fournis par la General Electric Company: ils sont des modèles à simple réduction, water-proof et G. E. 800. Dans ces derniers temps, la Compagnie a résolu d'adopter les moteurs modèle 12 de la Westinghouse Electric

Digitized by Google

and Manufacturing Company; le quart du matériel est actuellement équipé avec moteurs. Les contrôleurs sont du type K de la General Electric Company.

Les trucks sont d'un modèle spécial dessiné par les ingénieurs de la Compagnie. Nous représentons en figures 19, 20 et 21 le truck des voitures à quatre roues ; il est simple de construction et robuste; les axes sont en fer forgé de 9,5 cm. en plein corps et de 7,5 cm. aux tourillons; les roues ont 76 cm. de diamètre (30 pouces); en raison du grand nombre de courbes et d'aiguillages que les boudins des roues pouvaient détruire rapidement, ces boudins ont été faits très légers, en sorte que le nombre de roues brisées est assez considérable. La distance maxima des roues est de 2 m. environ de centre en centre; c'est une assiette plutôt faible pour des voitures dont la longueur totale est de 8 m. ou plus et où la

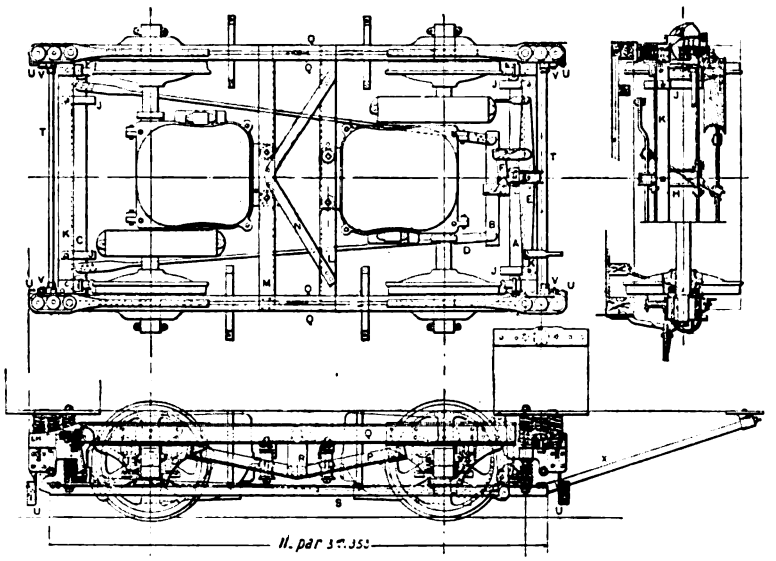


Fig. 19, 20 et 21. — Plan, coupe et élévation du truck.

charge peut être très irrégulièrement répartie.

Environ 150 voitures sont chauffées électriquement ; ce mode de chauffage a donné toute satisfaction. Les radiateurs sont placés sous les sièges; ils sont renfermés dans des coffres spéciaux qui sont munis de deux ouvertures seulement, une en bas, l'autre en haut, ce qui assure une excellente circulation d'air chaud dans la voiture. Pendant les moments de grande circulation, les voitures sont pleines de monde, et aucun chauffage artificiel n'est nécessaire; on ouvre le circuit des radiateurs, ce qui offre à la fois l'avantage d'augmenter le bien-être des voyageurs et de diminuer la demande à la station centrale au moment précis où le service est le plus actif. Les radiateurs électriques ne nécessitent aucune installation génératrice spéciale et sont relativement économiques. La Compagnie en est très satisfaite.

Les conditions climatériques de Boston rendent nécessaire l'établissement d'un service spécial d'enlèvement des neiges ; c'est un service très coûteux ; il n'y a pas moins de 115 charrues à neige, tant électriques qu'à traction animale, dont l'entretien et la manœuvre, joints à l'enlèvement des neiges rejetées sur les côtés des voies, ne coûtent pas moins de 300 000 à 500 000 francs par an. Ce service, comme du reste toute l'administration de cette importante Compagnie, a été organisé avec grand soin ; nous ne pouvons entrer dans de grands détails à ce sujet, et nous renvoyons

Digitized by Google

le lecteur qui s'y intéresserait particulièrement à un excellent article publié dans le numéro d'avril 1895 du *Street Railway Journal* et duquel nous avons extrait les renseignements contenus dans cet article.

Statistique.

La statistique d'une exploitation aussi considérable serait de première importance à étudier si on possédait tous les détails. Malheureusement nous ne pouvons offrir que des chiffres très incomplets. La Compagnie exploite, comme nous l'avons déjà dit, quelques lignes à traction animale, et le tableau que nous avons sous les yeux réunit les résultats des deux exploitations en un seul groupe. Quoi qu'il en soit, nous reproduirons en partie ce tableau, en y ajoutant quelques remarques.

STATISTIQUE DU TRAFIC

	1889	1890	1891	1892	1893	1894
Nombre de voyages (aller et retour) effectués.	2.205.359	2.344.570	2.328.274	2.259.858	2.303.462	2.319.377
Nombre de milles parcourus, traction animale	16.048.465	14.353.617	12.874.426	8.988.377	4.448.962	2 445.525
— — tract. électrique.	525.366	3.311.743	4.588.146	8.510.283	14.220.847	16.794 961
— — total	16.573.831	17.665.360	17.462.572	17.490.660	18.669.809	19.240.486
Nombre de voyageurs payants transportés. . .	104.243.150	114.853.081	119.264.401	126.210.781	133.863.618	137.028.449
RECETTES EN FRANCS :						
Voyageurs, traction animale.	»	»	»	14.535.485	6.506.705	3.310.625
— traction électrique.	»	»	»	16.652.245	26.576.330	30.360.930
— Total.	25.859.875	28.391.950	29.445.900	31.188.230	33.083.035	33.671.555
Recette moyenne par voyageur.	0,24805	0,24720	0,24690	0,24710	0,24715	0,24570
Recettes par voiture-mille, traction animale. .	»	»	»	1,615	1,460	1,355
— — traction électrique.	»	»	»	1,955	1,870	1,810
— — moyenne.	1,560	1,605	1,685	1,780	1,770	1,750
Dépenses totales, par voiture-mille, en fr. . . .	1,2365	1,1980	1,2730	1,2795	1,2185	1,2495

Une chose frappe d'abord dans ce tableau, c'est l'augmentation considérable du trafic qui provient moins du nombre de voyages effectués que du nombre de voyageurs transportés par chaque voiture, ce qui amène une augmentation correspondante des recettes par voiture mille parcourue.

Mais ce qui frappe surtout, c'est que le prix de revient de l'exploitation par voiture-mille, loin de diminuer, depuis l'introduction de la traction électrique, semblerait plutôt augmenter. Cela tient à plusieurs causes ; d'abord aux coûteuses expériences que la Compagnie a dû faire, puis à ce fait que les dépenses d'entretien et d'amortissement ont été très largement comptées ; enfin la très faible vitesse à laquelle les voitures doivent marcher dans le centre de la ville influe sur le prix de revient, en faisant perdre à la traction électrique une partie de ses avantages

Mais ce qu'il faut considérer, ce n'est pas tant le prix de revient que les résultats généraux obtenus. Il est d'ailleurs bien difficile de juger encore, après une expérience relativement si courte ; le matériel a dû être transformé plusieurs fois et n'a pas encore atteint son état définitif. Mais si l'on considère que les résultats obtenus n'auraient pas pu l'être par d'autres procédés, que les bénéfices de la Compagnie ont été sans cesse en augmentant depuis l'introduction du système électrique et qu'en 1893 les dividendes ont atteint 9 p. 100 pour les actions ordinaires, on verra que le public et la Compagnie n'ont qu'à se féliciter de la décision intelligente et hardie des organisateurs.

LYNN AND BOSTON RAILROAD COMPANY

Enfin, pour terminer, nous donnerons quel-

Digitized by Google

ques renseignements sur le réseau d'une seconde Compagnie qui aboutit à Boston, mais dont le trafic est surtout interurbain. Comme on peut le voir sur le plan (fig. 22), elle ne pénètre pas dans le centre de la ville; elle exploite 200 kilomètres de route avec 240 kilomètres de voies, avec 544 voitures. Elle a su, par une organisation intelligente, augmenter rapidement son trafic ; ainsi, par exemple, elle a multiplié le nombre des voitures ; en 1892, les départs entre Lynn et Boston avaient lieu toutes les heures ; actuellement, ils ont lieu tous les quarts d'heure. La durée du trajet, en 1892, était de quatre-vingt-quinze minutes ; à présent, elle n'est plus que de soixante-dix minutes ; aussi les voyageurs préfèrent actuellement le tramway au chemin de fer ; au lieu de transporter 10 000 voyageurs comme en juillet

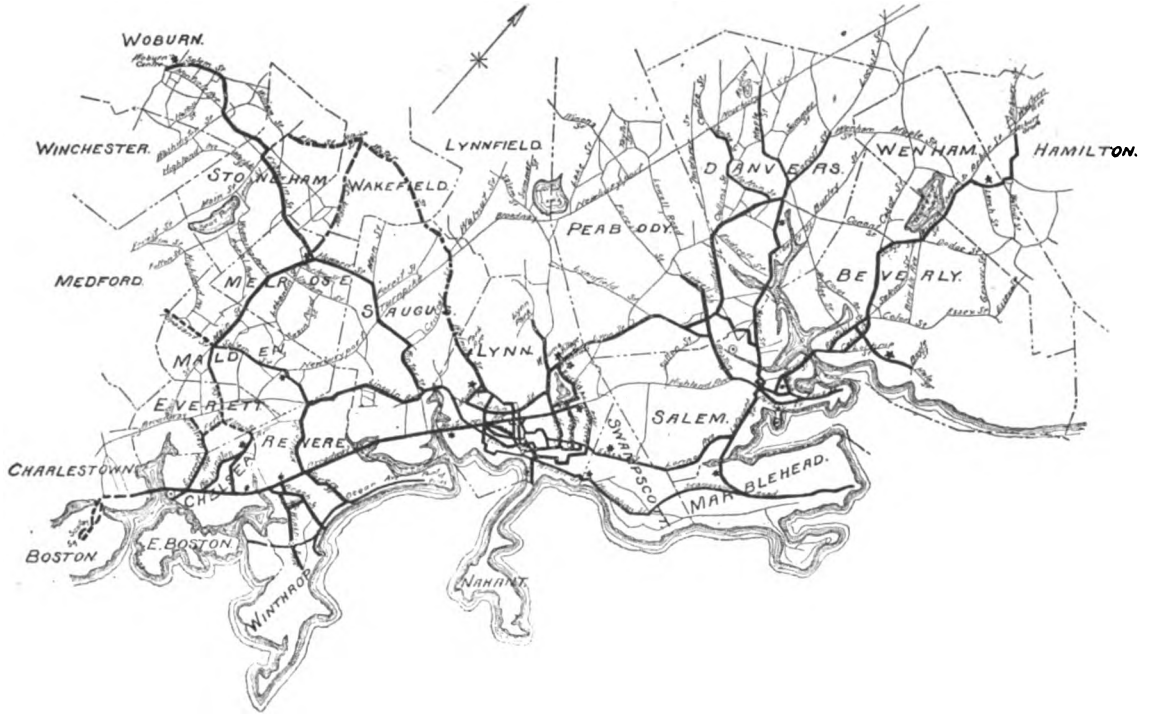


Fig. 22. — Plan du réseau de la Lynn and Boston Railroad Company.

1892, la Compagnie en a transporté 103 594 en juillet 1894. Les bénéfices ont été accrus en conséquence, comme le montre le tableau comparatif suivant, où les prix sont exprimés en francs.

La puissance électrique est fournie par trois stations centrales situées, comme l'indique le plan, à Salem, à Lynn et à Chelsea. Pendant la nuit, de 1 h. 15 à 5 h. 15, les deux premières sont fermées et la dernière suffit au trafic de nuit ; la distance à laquelle la puissance électrique est transmise atteint parfois alors 32 kilomètres.

	1891	1894
Longueur du réseau en km.	100	238
Recettes brutes.	2 959 518	6 182 865
Dépenses.	2 424 737	3 731 519
Bénéfices.	534 781	2 451 350
Rapport des dépenses aux recettes.	81,93	60,35
Recettes par km.	29,72	26,26
Dépenses —	24,35	16,28
Bénéfices nets par km.	5750,50	10962,50
Km. parcourus.	3 087 237	7 244 904
Recettes par voiture-kilomètre.	0,958	0,854
Dépenses par voiture-kilomètre	0,785	0,515
Bénéfice net par voiture-kilomètre.	0,173	0,338

Les détails de construction et d'installation

Digitized by Google

sont à peu de chose près identiques à ceux de la West End. Nous ne les décrirons pas, afin de ne pas exagérer la longueur de cet article purement descriptif.

G. PELLISSIER.

INDUCTION
DANS LES CABLES ARMÉS

Dans un précédent article publié dans l'*Éclairage Électrique* (23 octobre 1894), j'ai montré comment l'on peut calculer approximativement les coefficients d'induction des câbles revêtus d'armatures magnétiques.

Je me propose aujourd'hui d'appliquer ces considérations à l'interprétation de quelques expériences industrielles qui ont été effectuées sur la nouvelle canalisation de l'éclairage électrique de Genève et qui, malgré l'intérêt qu'elles présentent, n'ont fait jusqu'ici l'objet d'aucune étude complète.

Elles sont relatives aux chutes de voltage que l'on observe dans les câbles armés, selon que les conducteurs sont parcourus par des courants continus ou par des courants alternatifs; elles ont été effectuées par M. Graizier, directeur de la station centrale de Genève (1).

Bien que ces expériences n'aient pas été effectuées directement en vue d'un travail théorique et qu'il manque par conséquent certaines données indispensables à un calcul rigoureux, elles montrent néanmoins très nettement l'ordre de grandeur des perturbations qui peuvent se produire dans un câble revêtu d'une armature magnétique. Aussi m'a-t-il paru digne d'intérêt d'en faire l'analyse.

Les expériences ont été effectuées sur le câble primaire concentrique de la canalisation à haute tension.

(1) Je saisis cette occasion d'exprimer à M. Graizier tous mes remerciements pour les renseignements précieux et éclairés qu'il m'a si obligeamment fournis et qui m'ont grandement facilité la tâche.

Ce câble mesure 4 426 mètres de longueur totale; il se compose de deux parties: l'une de 3 202 mètres, chaque conducteur ayant 50 mm. de section; l'autre de 1 224 mètres et 25 mm. de section.

Les deux extrémités aboutissent dans le local même de la station. L'une pouvait donc être connectée avec le circuit secondaire d'un transformateur ou avec une dynamo à courant continu; l'autre était mise en rapport avec des lampes disposées en dérivation sur deux conducteurs principaux.

Les figures 1 et 3 représentent ce dispositif.

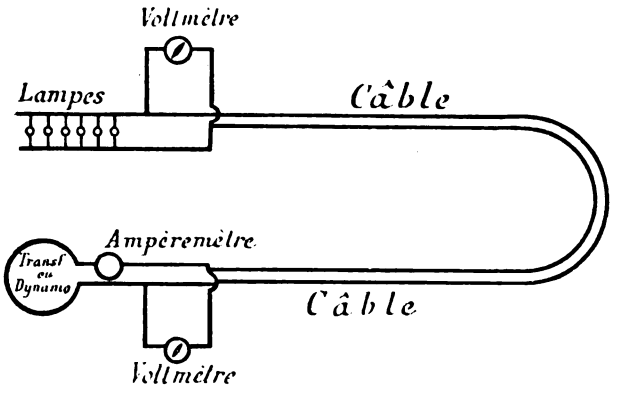


Fig. 1.

Dans toutes les expériences, on maintenait une tension constante ($\Delta = 100$ volts) aux bornes des lampes, quel que soit leur nombre, et l'on mesurait la tension ΔP à la sortie du transformateur ou de la dynamo au moyen d'un volmètre thermique (Cardew). La différence des indications des deux volmètres (soit $\Delta P - \Delta P'$) représentait donc la chute de voltage résultant de la présence du câble. Suivant le nombre des lampes intercalées, on augmentait ou diminuait l'excitation de la machine pour obtenir le réglage, mais le nombre de tours par seconde restait constant dans toutes les expériences.

Trois séries de mesures ont été effectuées.

1re *série.*

Dans la première série, le conducteur central du câble amenait le courant aux lampes;

Digitized by Google

le conducteur périphérique servant de fil de retour (fig. 1).

Comme on pouvait s'y attendre, la chute de voltage dans le câble s'est trouvée sensiblement la même avec les courants continus et alternatifs. Les droites (1) et (2) (fig. 2), représentant cette chute de voltage en fonction de l'intensité du courant, se confondent presque dans les deux cas.

En effet, si l'on se place dans l'hypothèse habituelle d'un courant périodique simple, la

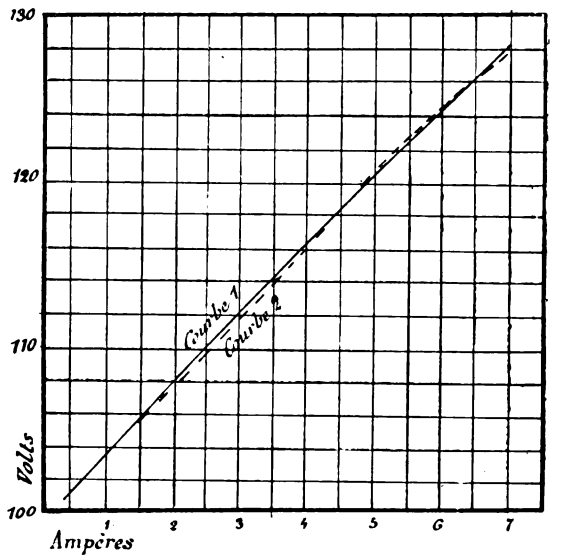


Fig. 2.

tension à l'entrée du câble se déduit des formules bien connues,

$$\Delta P = I\,(R + R')\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi n L}{R + R'}\right)^2} \qquad (1)$$

dans le cas des courants alternatifs, et

$$\Delta P = I\,(R + R') \qquad (2)$$

dans celui des courants continus.

Dans ces expressions, n, R, L, représentent le nombre de périodes par seconde du courant alternatif, la résistance et le coefficient de self-induction du câble ; R′ désigne la résistance équivalente à l'ensemble des lampes, dont le coefficient de self-induction est négligeable ; ΔP et I sont les indications des voltmètres et des ampèremètres ; ce sont, à proprement parler, la différence de potentiel et l'intensité efficaces définies par les expressions

$$\Delta P^2 = \int_0^1 \Delta p^2 \cdot dt\ , \qquad I^2 = \int_0^1 i^2 \cdot dt\ .$$

Dans les expériences précédentes on avait approximativement

$$L = 0{,}00116 \text{ henry } (^1),$$

$$n = 60 \text{ périodes}, \quad R = 3{,}7 \text{ ohms}; \quad R' \begin{matrix} > 14 \\ < 167 \end{matrix} \text{ ohms},$$

suivant le nombre des lampes mises en circuit.

En substituant ces valeurs dans la formule (1), on voit aisément que le second terme sous la racine est négligeable en regard de l'unité et l'on a sensiblement $\Delta P = I(R + R')$ avec les courants alternatifs, comme avec les courants continus.

Voici pour mémoire les résultats numériques de cette série.

TABLEAU I.

$\Delta P' = 100$ volts.

NOMBRE de lampes	COURANT CONTINU		COURANT ALTERNATIF	
	I (ampères)	ΔP (volts)	I (ampères)	ΔP (volts)
0	0,62	101,5	0,55	101,4
1	1,14	103,5	0,95	103,0
2	1,45	105,0	1,50	106,3
3	2,05	108,0	2,10	108,5
4	2,57	110,0	2,10	110,0
5	2,95	111,0	2,86	111,5
6	4,21	115,5	»	116,5
6	4,75	117,5	»	117,0
7	4,88	118,0	»	118,5
8	5,15	119,0	»	119,5
9	5,82	121,5	»	120,5
10	5,97	122,0	»	122,0
11	6,20	122,8	»	123,0
12	6,78	125,0	»	123,8
13	6,92	125,5	»	125,0
14	7,32	127,0	»	127,0

Il n'est peut-être pas inutile de faire remar-

(1) Le coefficient a été calculé d'après les dimensions du câble par la formule

$$L = 2l \log \frac{a_{(1,2)}}{a_1 a_2}$$

l, la longueur du câble ; $a_{(1,2)}$, moyenne distance géométrique des deux conducteurs d'aller et de retour ; a_1 et a_2, moyennes distances géométriques des éléments de la section de chaque conducteur. — (*L'Eclairage Electrique*, 13 octobre 1894.)

Digitized by Google

quer pour l'intelligence de ce tableau, que toutes les lampes n'étaient pas du même type.

En second lieu, l'intensité alternative n'a pas été mesurée pour toutes les expériences ; mais on peut admettre qu'elle était égale à l'intensité du courant continu pour deux expériences correspondantes.

L'on maintenait en effet la même tension de 100 volts aux bornes des mêmes lampes, constituant une résistance sans induction appréciable.

2e série.

Dans la seconde série, le conducteur central était seul utilisé ; le conducteur périphérique formant un circuit secondaire ouvert, aux extrémités duquel on pouvait d'ailleurs mesurer la tension avec un voltmètre Cardew (fig. 3).

Comme le montrent les courbes (1) et (2) (fig. 4) la chute de voltage, à intensité égale, est beaucoup plus grande avec les courants alternatifs qu'avec les courants continus.

En effet, la théorie donne pour la différence de potentiel dans les deux cas

$$\Delta P_1 = I_1 (R_1 + R'_1) \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi n L_1}{R_1 + R'_1}\right)^2}, \quad (1)$$

$$\Delta P = I_1 (R_1 + R'_1),$$

les valeurs numériques étant approximativement

$$R_1 = 1{,}85 \text{ ohms}, \qquad R'_1 \gtrless \begin{matrix} 17 \\ 250 \end{matrix}, \qquad n = 60,$$

la valeur de L_1 ne pouvait être calculée *a priori*, ne connaissant pas la perméabilité magnétique du fer de l'armature et le câble se trouvant placé à proximité de masses de fer (conduites d'eau ou de gaz).

Lorsqu'on envisage le rapport

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P} = \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi n L_1}{R_1 + R'_1}\right)^2}$$

on voit, dans le cas particulier des expériences, que deux causes peuvent agir simultanément pour lui donner des valeurs croissantes avec l'intensité du courant.

La première, la plus importante, est la diminution de la résistance équivalente R'_1. Celle-ci devient de plus en plus petite à mesure qu'on augmente le nombre des lampes placées parallèlement.

En second lieu, si l'on se place au point de vue théorique, le coefficient de self-induction du câble doit aller en augmentant un peu avec l'intensité du courant ; et cela grâce à la présence de l'armature magnétique.

On sait en effet que la susceptibilité magnétique du fer soumis à des forces magnétisantes

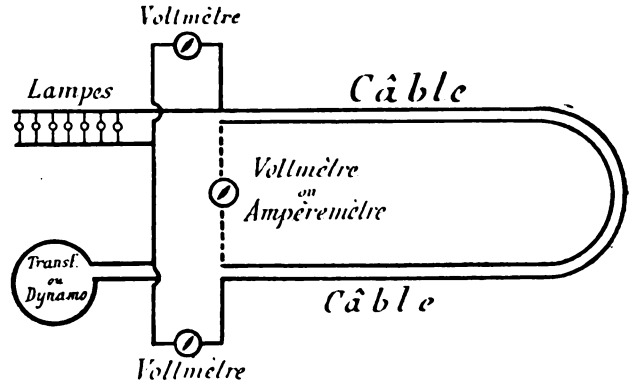


Fig. 3.

croissantes, augmente d'abord, passe par un maximum puis décroît indéfiniment. Il en résulte donc au début une augmentation du coefficient de self-induction, assez sensible dans le cas du fer doux, beaucoup moindre dans celui de l'acier.

Toutefois, dans le cas particulier de ces expériences, le coefficient L_1 devait être sensiblement constant ; car la force magnétisante $\left(F = \frac{2I}{\rho}\right)$ calculée d'après le rayon moyen de l'armature, ($\rho = 2$cm) n'atteignait pas une unité C G S pour le courant maximum ($i = 5{,}6\sqrt{2}$). Dans des limites aussi étroites et pour un fer aciéreux, la susceptibilité devait demeurer sensiblement constante.

D'ailleurs, si l'on calcule par la formule (1) la valeur de L_1 pour la seconde moitié des expériences qui présente le plus de garantie

Digitized by Google

d'exactitude (1), on trouve des valeurs comprises entre 0,036 et 0,033 henry correspondant à des forces magnétisantes oscillant entre ± 0,5 à ± 0,8 C G S au maximum.

La valeur moyenne est $L_1 = 0{,}034$ henry.

En résumé si la courbe (2) (fig. 4) n'est plus une droite et si le rapport $\frac{\Delta P_1}{\Delta P}$ va en augmentant dans les expériences de cette série, il faut en attribuer la cause à la diminution de R_1' à

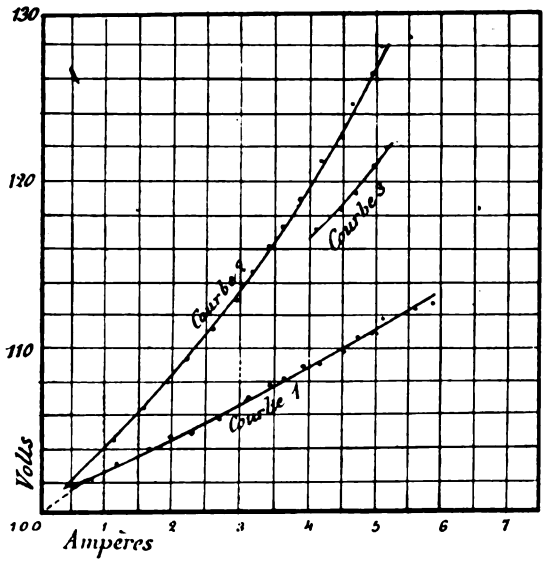


Fig. 4.

mesure qu'on augmente le nombre des lampes.

Il n'est peut être pas sans intérêt de calculer en manière de vérification, la susceptibilité magnétique (supposée constante) qui correspondrait à cette valeur expérimentale $L_1 = 0{,}034$ henry. Ce calcul ne peut naturellement être qu'approximatif.

Dans une précédente note (1) j'ai démontré que le coefficient de self-induction d'un câble armé pouvait être exprimé au moyen de deux termes

$$L_1 = L'_1 + 8\pi l k \log \frac{\rho_2}{\rho_1},$$

dont le premier (constant) représente le coefficient du câble sans armature ; et le second (théoriquement variable à chaque instant) désigne la correction provenant de la présence de cette armature.

Comme nous l'avons vu, le câble en expérience se composait de deux parties de longueur et de sections différentes. Mais les rayons moyens des armatures étaient assez peu différents pour que l'on pût supposer la susceptibilité comme étant la même dans les deux parties. La formule précédente devient alors

$$L_1 = L_1' + 8\pi k \left[l' \log \frac{\rho_2'}{\rho_1'} + l'' \log \frac{\rho_2''}{\rho_1''} \right].$$

Tout dans cette expression peut être numériquement connu. Le coefficient L' peut être calculé rigoureusement à l'aide de la moyenne distance géométrique des éléments de la section du conducteur par les méthodes habituelles. On avait donc

$$\begin{aligned} L_1 &= 0{,}034 \text{ henry}, \\ L'_1 &= 0{,}012 \quad — \\ l' &= 0{,}000\,202 \text{ quadrant}, \\ l'' &= 0{,}0001224 \quad — \\ \frac{\rho_2'}{\rho_1'} &= 1{,}08, \\ \frac{\rho_2''}{\rho_1''} &= 1{,}1. \end{aligned}$$

D'où $k = 24$.

Cette valeur ainsi calculée, est en quelque sorte une limite supérieure du facteur k. Le calcul précédent ne tient pas compte en effet des masses de fer qui se trouvaient à proximité du câble et qui avaient pour effet d'aug-

(1) La valeur de L_1 est en effet donnée par l'expression.

$$L_1^2 = \frac{\overline{\Delta P}_1^2 - I_1^2 (R_1 + R_1'^2}{(2\pi n I_1)^2}$$

d'où en faisant

$$R_1' = \frac{\Delta P'}{I_1}, \quad L_1^2 = \frac{\Delta P_1^2 - (R_1 I_1 + \overline{\Delta P'})^2}{(2\pi n I_1^2}};$$

il est aisé de voir (*tabl. II*) que pour les premières expériences la moindre discordance entre les voltmètres mesurant ΔP_1 et $\Delta P'$ introduit une grande erreur sur la valeur de L_1, puisqu'en substituant les valeurs numériques, le numérateur se réduit sensiblement à la différence des deux carrés $\Delta P_1^2 - \Delta P'^2$.

Comme les voltmètres employés n'ont pas été comparés et qu'il n'a été effectué pour chaque point qu'une ou deux lectures, il est impossible de déduire L_1 des premières mesures.

Il n'en est pas de même des dernières où ΔP_1 prend une valeur très différente de $\Delta P'$.

(1) *Éclairage Electrique*, 13 oct. 1894.

Digitized by Google

menter son coefficient de self-induction L_1.

Quoi qu'il en soit la présence de l'armature, en augmentant considérablement le coefficient L_1, contribue à expliquer pourquoi la chute de voltage observée avec les courants alternatifs s'est trouvée plus de deux fois plus grande qu'avec les courants continus.

Ce résultat est mis clairement en évidence par le tableau suivant et par la courbe (2) (fig. 4).

TABLEAU II

$\Delta P' = 100$ volts.

NOMBRE de lampes	COURANT CONTINU		C. ALTERNATIF
	I_1 (ampères)	ΔP (volts)	ΔP_1 (volts)
0	»	101,3	101,5
1	0,40	102,0	102,0
2	1,10	103,0	104,3
3	1,55	104,0	106,3
4	1,95	104,8	108,0
5	2,20	105,0	109,8
6	2,65	105,8	111,0
7	2,95	107,0	113,0
8	3,15	107,3	114,3
9	3,40	108,0	116,0
10	3,7	108,3	117,5
11	3,9	109,0	118,8
12	4,2	109,0	121,0
13	4,5	109,6	122,3
14	4,7	110,5	124,8
15	5,0	110,5	126,3
16	5,3	111,3	128,0
17	5,6	112,0	130,5
»	5,8	112,0	»

Il est à noter que pendant cette série d'expériences, les communications téléphoniques ont été empêchées presque totalement dans toute la ville, par suite des phénomènes d'induction.

3e série.

Dans la troisième série d'expériences on a relié les extrémités du conducteur périphérique par un ampèremètre alternatif ; on avait donc dans ce cas, un circuit secondaire fermé parcouru par des courants d'induction.

La courbe (3) figure 4, montre que la chute de potentiel primaire est plus grande qu'avec les courants continus mais plus petite que dans la série précédente. Ce résultat semble conforme à la théorie des transformateurs. Malheureusement ne connaissant ni la résistance, ni le coefficient de self-induction de l'ampèremètre introduit, il n'a pas été possible de calculer cette série, dont le résultat intéressant cependant, mérite d'être mentionné.

On voit, en résumé, que les considérations théoriques développées précédemment permettent de rendre compte d'une façon satisfaisante de certaines perturbations qui peuvent se manifester au sein d'une canalisation électrique. Il est regrettable que les exigences du service d'éclairage n'aient pas permis de multiplier ces intéressantes expériences.

CH.-EUG. GUYE,
Professeur agrégé
à l'Ecole polytechnique de Zurich

EXPOSITION ANNUELLE

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

En parcourant l'Exposition de la Société de physique, nous signalerons d'abord, parmi les appareils de mesure, les électromètres absolus à plateaux et à anneau de garde de MM. Abraham et Lemoine ; l'un construit par M. Carpentier et destiné à donner le millième ; l'autre, plus robuste et qui pourrait devenir industriel, construit par M. Torchebeuf et donnant le centième. M. Carpentier exposait également le galvanomètre de haute sensibilité qu'il a construit sous les indications de M. P. Weiss ; nous citerons aussi ses résistances en fil de manganine. M. Jules Richard expose un voltmètre à courants alternatifs, basé sur le principe de l'appareil de Cardew.

Quelques appareils intéressants se rencontrent en dehors des mesures électriques proprement dites. En photométrie, nous indiquerons le lumen-mètre de M. Blondel, construit par la maison Sautter et Harlé ; en calorimétrie et en thermométrie, le calorimètre de Bunsen avec tube de platine soudé directement au-dessus, par M. Chabaud. La substi-

Digitized by Google

tution du platine au verre offre des avantages évidents; toutefois, la minceur de la paroi du calorimètre est limitée par la nécessité de n'avoir pas de déformations sensibles. M. Chabaud réalise, sur des tubes de 2 cm. de diamètre, des soudures parfaites; une pression

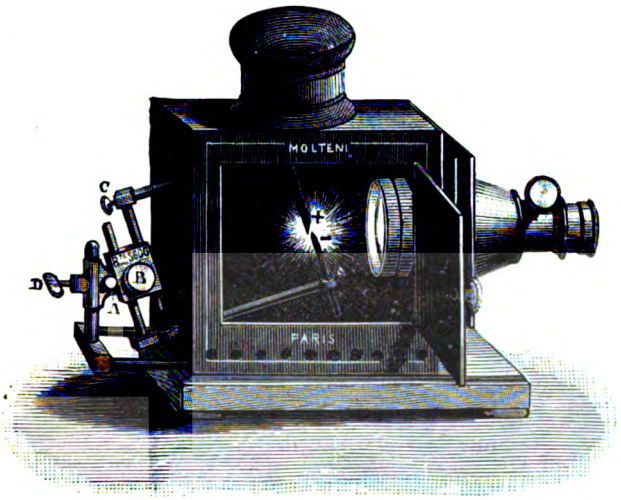


Fig. 1. — Régulateur à main pour projections.

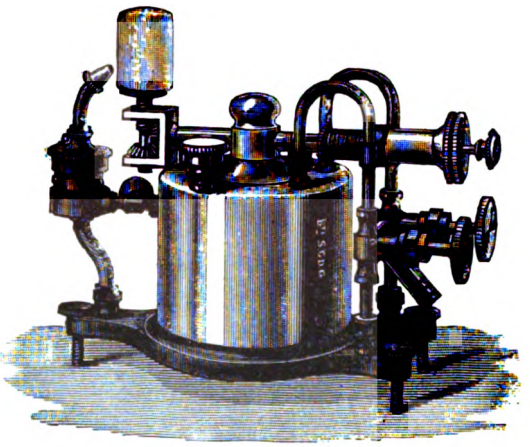


Fig. 2. — Régulateur oxyéthérique.

énergique appliquée à l'intérieur déchire le platine sans détruire la soudure. M. Hémot expose également un thermomètre à réservoir de platine, construit sur les indications de M. Marchis pour obtenir des indications rapides sans déplacement du zéro.

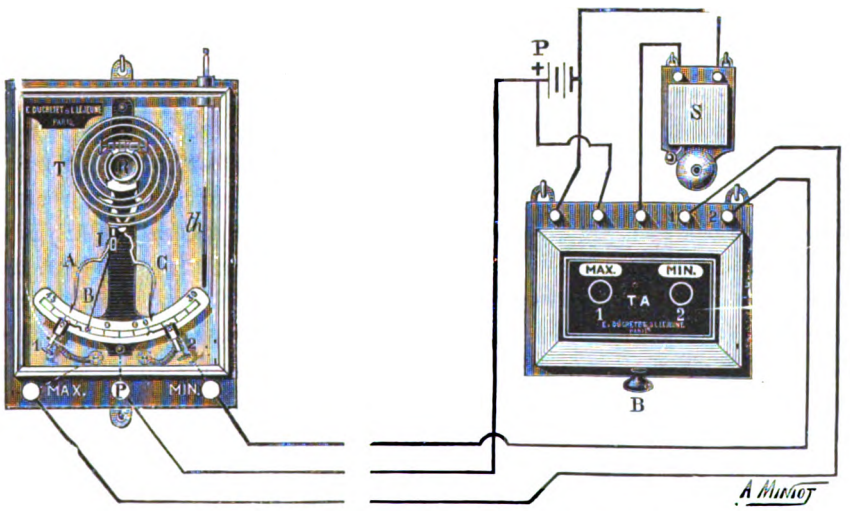


Fig. 3. — Thermomètre avertisseur Ducretet.

L'éclairage par les lampes à arc nous présente une nouveauté dans les lampes à faible intensité (2 ampères) de la Société Cance et la maison Bisson, Bergès et Cie, qui exploite le brevet Brianne. La chaleur de l'arc, utilisée dans le four électrique, a donné, entre les mains de M. Moissan, toute une série de produits; MM. Girard et Street l'emploient pour

Digitized by Google

transformer le carbone en graphite, obtenant ainsi des charbons de haute conductibilité, très réfractaires à l'attaque des agents chimiques.

M. Molteni nous montre son régulateur à main (fig. 1) pour projections ; l'inclinaison de l'axe des charbons sur la verticale et la disposition en sifflet permettent d'utiliser la lumière émise par le cratère positif, qui est perdue presque totalement dans les lampes ordinaires. A côté de cet appareil, mérite d'être cité, pour la régularité et la simplicité de son fonctionnement, le *régulateur oxyéthérique* (fig. 2) dans lequel un courant d'éther, brûlant dans l'oxygène, porte à l'incandescence un bâton de craie.

La direction générale des Postes et Télégraphes a fait construire une ligne télégraphique artificielle reproduisant à peu près les éléments du câble Marseille-Alger; un jeu très simple de commutateurs permet d'utiliser une fraction quelconque de la ligne, en capacité, self-

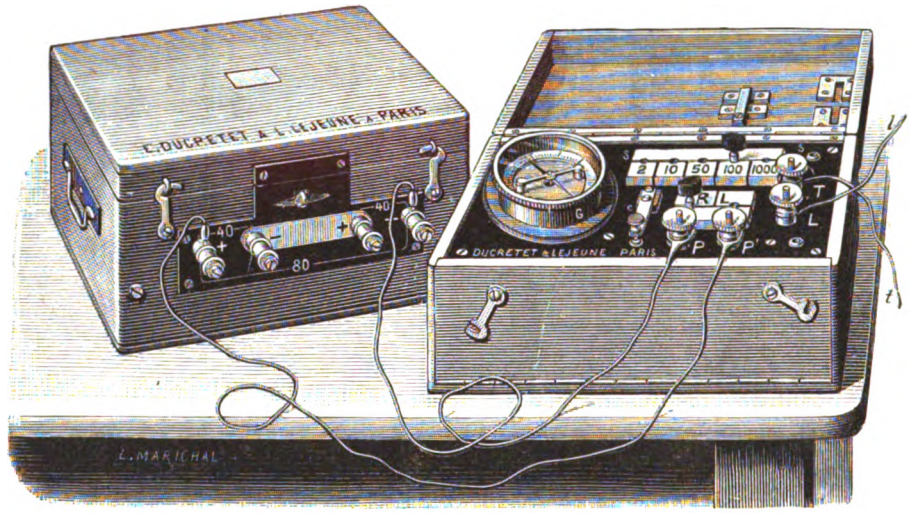


Fig. 4. — Appareil portatif pour la mesure des résistances d'isolement.

induction ou résistance. MM. Maréchal et Rigollot exposent leurs actinomètres électrochimiques et leurs relais pour transmissions souterraines et sous-marines, basés sur le principe de l'actinomètre. M. Barbarat présente un très intéressant système de câble souterrain; le toron est dans l'axe d'un tube, le long duquel on insuffle un courant d'air sec, pour conserver à l'isolement une valeur convenable.

Pour mesurer l'hystérésis, M. Marcel Deprez place une pièce de métal dans un champ alternatif produit par la rotation de 4 électro-aimants; le métal tend à suivre le mouvement, la torsion du fil de suspension mesure l'hystérésis, lorsque l'équilibre est atteint ; cet appareil est construit par M. Digeon.

MM. Ducretet et Lejeune exposent des appareils très variés; nous citerons une boîte de piles au bioxyde de plomb à liquide immobilisé ; un chercheur de pôles, un appareil pour la vérification des paratonnerres, le compteur électrique de M. Grassot, les trois derniers décrits récemment dans le journal. La figure 3 représente un thermomètre avertisseur, dont la disposition est évidente; le thermomètre est une spirale bimétallique, qui actionne une tige ; cette tige venant frotter sur des contacts placés à volonté, à droite et à gauche, ferme, par l'intermédiaire d'un électro, le circuit d'une sonnerie, qui continue à se faire entendre tant que l'appareil n'a pas été de nouveau remis en état. La figure 4 représente un appareil portatif pour la mesure des résis-

Digitized by Google

tances d'isolement; la boîte de gauche contient 80 piles sèches qui donnent une force

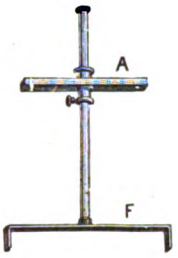


Fig. 5. — Aimant directeur pour faire varier la sensibilité.

électromotrice de 100 volts environ; la boîte de droite contient un pont de Wheatstone avec un galvanomètre ; l'aimant est porté par une tige dont une extrémité repose sur une cuvette de saphir, l'autre passant par un trou de rubis ; il n'y a pas besoin de vis calantes. La figure 5 présente un aimant directeur destiné à faire varier la sensibilité.

L'appareil de M. Pellat, à double plateau, pour la mesure des pouvoirs inducteurs spécifiques, est également construit par MM. Ducretet et Lejeune.

M. Gaiffe a construit des appareils physiologiques, basés sur l'action des courants de haute fréquence, de M. d'Arsonval; en particulier le grand appareil dans lequel un homme peut entrer et la disposition simple de la figure 6.

M. Bonetti présente une nouvelle machine

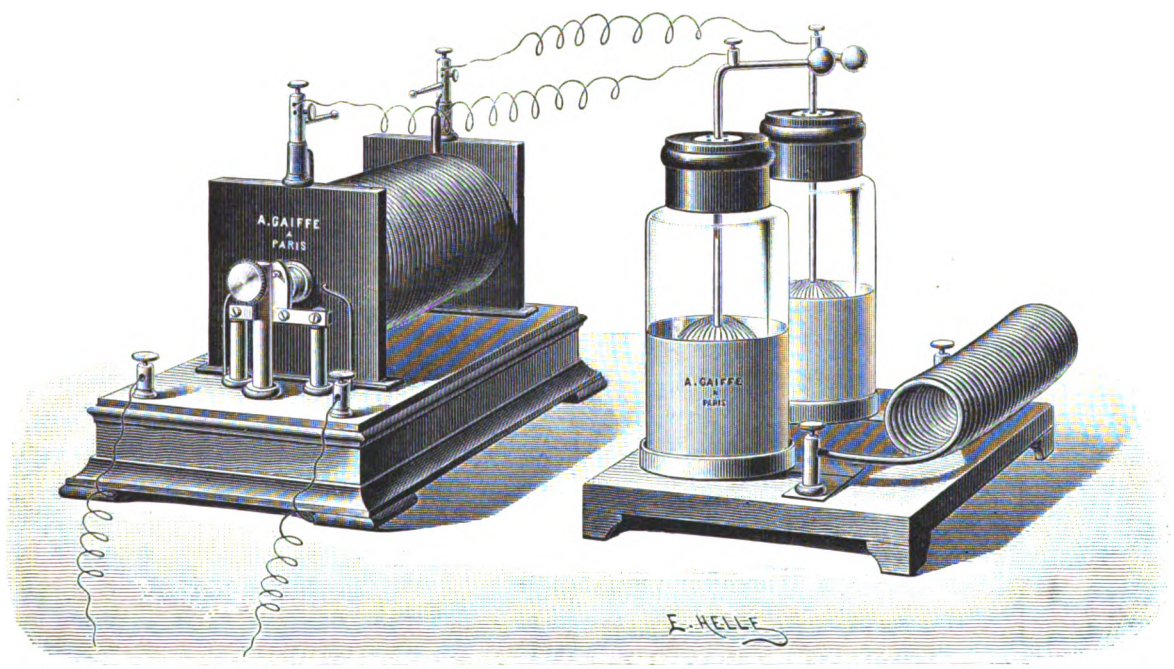


Fig. 6. — Appareil pour la production des courants de haute fréquence.

à influence, genre Wimshurst modifiée récemment : les secteurs métalliques sur les disques isolants sont supprimés; le nombre des balais frotteurs est porté au nombre de six ; ils peuvent être remplacés par des peignes. La puissance de la machine se règle très facilement; elle varie dans le même sens que l'écartement des balais extrêmes.

Nous citerons en terminant : l'appareil à l'aide duquel M. Lemoine montrait la dispersion du phénomène de Kerr dans le sulfure de carbone; le prisme de verre de Saint-Gobain qui a servi à M. Pérot à mesurer la constante diélectrique du verre par la réfraction des surfaces équipotentielles ; les tubes de M. de Kowalski pour l'étude des rayons

Digitized by Google

cathodiques; les diagrammes d'inscriptions électrochimiques des courants alternatifs de M. Janet; de belles figures de Remsen obtenues par M. Hurmuzescu.

C. RAVEAU.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Grandes dynamos pour lampes à arc

Parmi les intéressantes communications auxquelles a donné lieu la dernière réunion de la *National Electric Light Association*, à Cleveland (Amérique), nous relevons celle de M. Charles Black dont nous donnons ci-dessous l'analyse.

Si l'on jette un regard en arrière sur ces quinze dernières années, on est surpris que, au milieu des rapides progrès faits dans toutes les branches de l'électricité, les dynamos à arcs se soient aussi peu modifiées. Le fait est d'autant plus singulier que l'éclairage par arcs a été une des premières applications de la science qui se soit répandue sur une large échelle. On ne saurait attribuer cette stagnation à ce que l'étude et le rendement de ce type de machines ne laissait plus rien à désirer; son infériorité à ce dernier point de vue est au contraire de notoriété générale et il ne saurait soutenir la comparaison avec les dynamos pour éclairage par incandescence.

Durant les dix-huit derniers mois l'attention de divers constructeurs s'est cependant portée de ce côté, et les résultats s'en sont manifestés par des descriptions de nombreuses dynamos à arcs, publiées de temps à autre par les journaux techniques. La tendance générale paraît être à de plus grandes unités et des vitesses plus faibles; mais, si l'augmentation des dimensions a naturellement augmenté leur rendement dans une certaine mesure, on n'en constate pas moins le volume considérable de leurs inducteurs, avec l'énorme quantité de cuivre qu'ils comportent, et l'exiguïté de l'induit, qui suffit seule à expliquer le rendement peu élevé de ces dynamos. Un autre fait digne de remarque est que, à une seule exception près, qu'il est à peine besoin de mentionner, toutes les nouvelles machines ainsi décrites sont du type à induit fermé. Cette observation mérite d'autant plus de considération que jusqu'ici 75 p. 100 au moins des foyers à arcs sont, du moins en Amérique, alimentés par des dynamos à induit ouvert. L'induit ouvert parut, dès le début, à des hommes de la valeur de Brush et d'Elihu Thomson particulièrement désigné pour ce fonctionnement à intensité constante; et il a été, par l'intuition de ces éminents pionniers, si bien réalisé qu'aujourd'hui encore les machines basées sur ce principe et à peine modifiées depuis quinze ans soutiennent la concurrence avec les plus récentes dynamos à circuit fermé.

La raison de cette préférence apparaît d'elle-même; il n'est cependant pas inutile, avant de l'indiquer, de résumer brièvement les différences essentielles entre ces deux classes de machines. Comme son nom l'indique, dans la machine à induit ouvert, chacune des bobines ou sections de l'induit est absolument distincte et séparée. En d'autres termes, ces bobines ne forment pas un circuit fermé sur lui-même. Chacune d'elles comporte un grand nombre de spires et le commutateur n'a qu'un petit nombre de touches. Dans les induits à circuit fermé, c'est exactement le contraire qui se présente : chaque section ne se compose que d'un petit nombre de spires et les segments de commutateur sont très multipliés. Cette différence a pour cause la manière dont s'effectue la commutation. Dans les machines à induit ouvert on n'a pas à craindre une grande self-induction dans chaque bobine; on peut même presque dire que cette self-induction est la condition indispensable de leur bon fonctionnement; tandis que, dans les machines à induit fermé, moins chaque bobine présente de self-induction, mieux s'effectue la commutation. Il en est ainsi de toutes les dynamos à

Digitized by Google

circuit fermé, destinées à alimenter soit des foyers à arc, soit des lampes à incandescence, comme le savent tous ceux qui ont quelque expérience de l'étude des machines dynamos.

Cette condition de fonctionnement des machines à induit ouvert n'est cependant qu'imparfaitement connue, même de ceux qui sont le plus familiarisés avec elles. Le fait qu'une self-induction considérable est avantageuse dans une machine à induit ouvert n'avait jamais, à la connaissance de l'auteur, été nettement établi, bien qu'il soit la base du bon fonctionnement d'une machine de 2 000 volts et au-dessus. Le professeur Sylvanus P. Thompson, dans son *Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques* (p. 444 de la traduction française), l'expose très clairement en indiquant comment s'effectue la commutation dans ces machines.

Quand on n'est pas familiarisé avec elles, on est toujours surpris que les étincelles inhérentes à leur fonctionnement ne détruisent pas le commutateur. Il y a bien en effet, une tendance en ce sens dans une certaine mesure ; mais le courant qui les détermine est si faible et la chaleur qui en résulte se dissipe si rapidement par radiation que pratiquement les effets en sont presque inappréciables. Ici, la self-induction de la bobine joue un rôle capital ; sans elle, le courant circulant dans la bobine qui se trouve mise hors circuit se renverserait avant que la touche correspondante du commutateur fût arrivée à une distance du balai suffisante pour empêcher le courant de franchir l'espace d'air chaud qui sépare les touches et de produire un cercle de feu autour du commutateur.

L'étude et la proportion des inducteurs sont les mêmes que dans les machines à induit fermé. C'est dans le commutateur et dans la commutation que réside la différence la plus marquée entre les dynamos à arcs à induit ouvert et celles à induit fermé et c'est à elle qu'est due la grande supériorité des premières sur les secondes. Qu'on prenne, par exemple, une nouvelle machine à induit ouvert pour 125 foyers et une des plus anciennes à induit fermé pour 100 foyers ; l'une comporte 24 segments au commutateur, tandis que la seconde en a 160. Il est inutile d'insister sur la facilité d'isolement et de réparation relative de l'une par rapport à l'autre.

Certains défenseurs quand même des machines à induit fermé s'élèvent cependant contre le petit nombre des segments de commutateur comme rendant le courant discontinu et déterminant par suite un effort plus grand sur l'isolement de la ligne. L'objection n'est pas nouvelle et il y a été répondu depuis longtemps. Elle semble cependant s'être reproduite dans ces derniers temps, et des constructeurs d'appareils à induit fermé revendiquent hautement pour leurs machines la continuité absolue du courant et l'absence de tout effort exagéré sur l'isolement de la ligne.

Dès 1887, M. Mordey a fait sur une machine Brush les expériences suivantes pour déterminer les oscillations réelles de son courant. Six convertisseurs, construits pour transformer chacun 2 000 volts en 100 volts, étaient reliés tous en tension, primaires d'une part, et secondaires de l'autre. Il lança le courant d'une machine Brush dans toutes les bobines de basse tension, et, à l'aide d'un voltmètre Cardew, chercha à mesurer la différence de potentiel aux bornes de la bobine secondaire ou à fil fin. L'aiguille resta immobile au zéro, sans indiquer aucune différence de potentiel. Il appliqua alors ses mains humides sur les bornes de la série entière et obtint le même résultat négatif. M. Black cite également une expérience faite par lui il y a peu de temps et qui confirme pleinement ces résultats. Il fit passer le courant d'une dynamo à induit fermé qui, avec 72 touches à son commutateur, donnait, par conséquent, un courant pratiquement continu, à travers les inducteurs d'une machine de 125 foyers à arc et mesura la chute de potentiel avec un voltmètre Weston. Il fit ensuite fonctionner la machine sur sa propre excitation et mesura de nouveau la chute de potentiel dans le système inducteur. Les indications du voltmètre furent identiques dans les deux cas.

Digitized by Google

Qu'il y ait au fond discontinuité du courant, c'est incontestable ; mais elle est si faible qu'aucun appareil moins sensible que le téléphone ne saurait le révéler, comme l'indiquent, d'une façon concluante, les expériences ci-dessus. Dans ces conditions, il est difficile d'admettre que l'isolement d'un conducteur soit plus compromis par le courant d'une machine à induit ouvert que par celui d'une machine à induit fermé.

Il est une question plus vitale reliée à ces grandes unités fournissant à la ligne des courants sous l'énorme tension de 6 000 volts et même davantage ; c'est celle de savoir la valeur qu'atteint la force électromotrice dans le cas où le circuit est brusquement rompu. Au point de vue théorique et en prenant comme base de déductions la manière dont s'effectue la commutation dans les deux types de machines, on trouve que l'avantage est de beaucoup du côté de celle à induit ouvert. Ouvrir le circuit revient, dans un sens, à intercaler dans la ligne une résistance très élevée, et en agissant ainsi, on renvoie en arrière le point de commutation sous le balai, en réduisant la réaction du courant d'induit. Par suite, la bobine qui ne doit être mise hors circuit qu'après le passage du segment correspondant sous le balai, met en court-circuit celle qui est en parallèle avec elle ; il en résulte que le segment relié à cette bobine transporte l'arc jusqu'au balai opposé et détermine un cercle de feu autour du commutateur ; comme conséquence, l'induit se trouve mis en court-circuit et la f. é. m. tombe à zéro. Ce cercle de feu n'est pas dû à la rupture de l'isolant en un point quelconque ; c'est un simple entraînement de l'arc, formé par la bobine mise en court-circuit, sur une partie du pourtour du commutateur et, à ce point de vue, il agit comme une soupape de sûreté. La machine n'en souffre nullement, et, dès que la rupture du circuit a cessé, elle est en mesure de fournir son courant à la ligne.

Pour arriver à le démontrer pratiquement et déterminer exactement la valeur prise par la f. é. m. quand le circuit était brusquement rompu, l'auteur a fait l'expérience suivante. Il a mesuré avec toute la précision possible dans les limites de quelques centièmes de millimètre les distances de production d'étincelles, depuis 500 jusqu'à 9 000 volts, entre deux crayons de charbon, l'un à surface terminale plate, l'autre à bout arrondi. Les résultats en sont réunis en courbe dans la figure 1. On remarquera qu'elle donne sensiblement une ligne droite et concorde parfaitement avec celle obtenue par De La Rive et Muller qui se sont livrés à des séries d'expériences très étendues sur le même sujet. Les bornes d'une machine de 6 250 volts furent alors reliées à ces crayons de charbon et on détermina la plus grande distance franchie par le courant sous la brusque rupture du circuit. Cette distance correspondait à un peu moins de 8 000 volts, ce qui indiquait que la f. é. m. s'était élevée de 1 500 à 2 000 volts. On peut l'attribuer au fait qu'il faut un intervalle de temps appréciable pour que l'arc

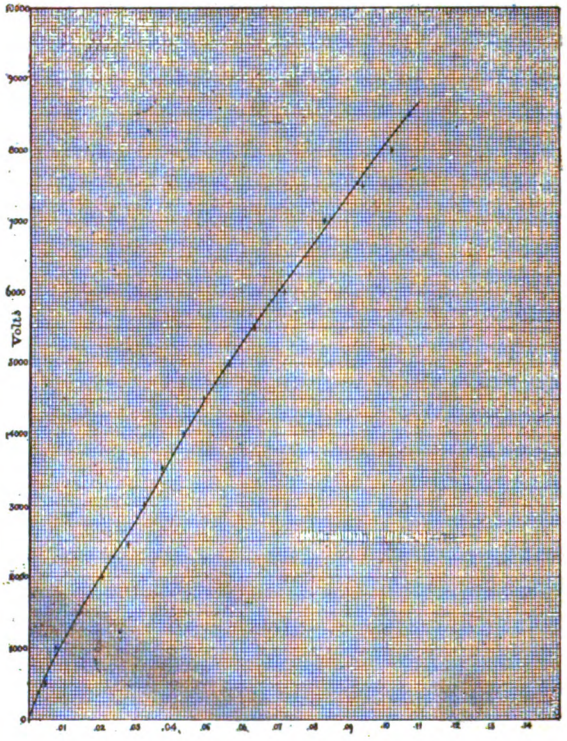


Fig. 1. — Courbe des distances d'étincelles.

Digitized by Google

passe autour du commutateur d'un balai à l'autre. L'ouverture angulaire de chaque segment étant de 60 degrés environ, le temps nécessaire à la mise en court-circuit du commutateur est juste un tiers de ce qu'il serait dans une machine à induit fermé. En conséquence, l'auteur estime que, dans une machine à induit fermé, la f. é. m. peut, sans inconvénient, s'élever dans les mêmes conditions, au double de sa valeur normale. En fait, il a toutes raisons de croire qu'elle pourrait s'élever notablement au-dessus, à la condition, bien entendu, que l'isolement du commutateur ne se rompît pas. En pareil cas, la machine serait naturellement hors de service jusqu'à ce qu'elle fût réparée. Cette particularité, si on peut l'appeler ainsi, de la machine à induit ouvert a une importance spéciale dans le cas de circuits souterrains, en ce sens qu'une rupture d'isolant, par suite d'élévation anormale de la f. é. m., ne peut se réparer qu'à grands frais.

Quelques essais sur circuits souterrains présentant un réel intérêt pour les stations centrales, l'auteur s'est livré à des recherches sur cette élévation de f. é. m. en cas de rupture subite d'un long circuit souterrain. Une machine Brush, à induit ouvert, de 125 foyers, fut reliée à un circuit souterrain de 19 km. de long, alimentant 125 lampes à arc. Le voltmètre donnait 6 850 volts aux bornes de la machine. Le circuit fut alors rompu un certain nombre de fois avec les crayons de charbon en dérivation sur le point de rupture. Les crayons furent d'abord écartés à une distance correspondant à 10 000 volts, progressivement réduite jusqu'à ce que le courant franchît l'intervalle d'air. Elle correspondit à 5 000 volts seulement. Les charbons furent donc écartés à une distance correspondant à 6 000 volts, ce qui eut pour résultat de faire jaillir deux fois le courant sur huit ruptures du circuit ; on estima dès lors avoir à peu près atteint la limite. On résolut alors d'essayer une rupture du circuit vers le milieu. Dans ces conditions, l'indication maxima fournie par l'instrument fut de 5 000 volts ; mais le temps de décharge présenta une différence sensible. Dans le premier cas, il y eut deux décharges se succédant rapidement dans l'espace d'une demi-seconde après la rupture, tandis que, dans le second, il s'écoula deux secondes pleines avant que le courant jaillît. Dans les deux cas, il y eut deux décharges avant l'établissement de l'arc ; la première était courte et bruyante comme une étincelle statique. On voit, d'après cela, que la capacité du circuit faisait plus qu'équilibrer l'élévation de f. é. m. due à la self-induction de la machine et de la ligne. Ces résultats permettent d'admettre avec sécurité que l'isolement d'un câble ne serait pas compromis par une rupture accidentelle sur la ligne. Ces diverses considérations ont décidé la Compagnie à laquelle appartient l'auteur de la communication, à adopter, dans l'étude de ses grandes unités, le type de machines à induit ouvert, connu sous le nom de Brush.

Chacune d'elles tourne à la vitesse angulaire de 500 tours par minute et fournit une puissance de 66 kw. pour l'alimentation de 125 foyers à arc de 50 volts et 9,6 ampères. Elle peut cependant donner, sans échauffement anormal, de 6 700 à 6 800 volts. Son poids, y compris la plaque de fondation, la poulie et le régulateur est exactement de 5 tonnes. Le bâti proprement dit est fait en fonte grise douce de première qualité et fondu en trois pièces. Les deux parties supérieures s'enlèvent facilement, donnant ainsi libre accès à l'induit qu'on peut retirer et remplacer en quelques minutes en cas de besoin. Les paliers sont à graissage visible et à alignement automatique d'un contrôle facile. Les noyaux d'inducteurs sont établis en acier forgé contenant très peu de carbone et de perméabilité très élevée. Les pièces polaires, en acier fondu, sont effilées à leurs becs de manière à prévenir un échauffement excessif dû aux courants parasites. Le fil des inducteurs est plus gros que celui de la majorité des machines à arc équivalentes. L'intensité n'y est que de 1,15 ampère par mm^2, et, par suite, la température n'augmente que peu même après vingt-quatre heures de

Digitized by Google

marche. L'induit est du type étalon bien connu, à cette seule différence près que, la machine étant à quatre pôles, trois bobines au lieu de deux, sont reliées en série.

Si l'on passe maintenant au commutateur, l'organe le plus délicat, directement ou indirectement, des machines à courant continu, trois considérations ont guidé son étude :

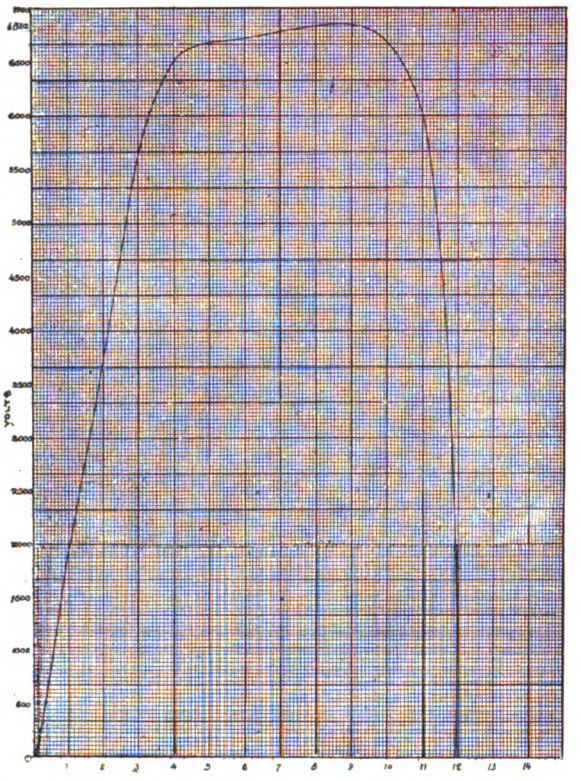


Fig. 2. — Caractéristique d'une machine Brush à arcs.

d'abord la simplicité, en second lieu sa durée et enfin la facilité de sa réparation. Il se compose de trois bagues dont chacune est formée de sections distinctes en poirier bien sec saturé d'huile de lin bouillante. Le bois est revêtu d'une bague de mica de 1 mm., 6 d'épaisseur; des disques également en mica protègent contre l'arc les côtés des bagues de bois. Sur le mica sont montés les segments de laiton, puis le cuivre.

Des blocs de buis, de 12 à 18 mm. de long, isolent les segments. Les balais portent tangentiellement sur le commutateur, comme dans toutes les machines analogues à induit ouvert. En avant de la machine et fixé sur le commutateur est monté un régulateur automatique qui déplace les balais et dérive des inducteurs une plus ou moins grande fraction du courant suivant les variations de charge. Le petit arbre qui le commande est actionné par une petite courroie conduite par l'arbre de l'induit. Sur cet arbre sont montés deux embrayeurs magnétiques réglés par deux relais faisant partie du tableau. La puissance électrique absorbée par le fonctionnement du régulateur est inférieure à 1/10 p. 100 de la

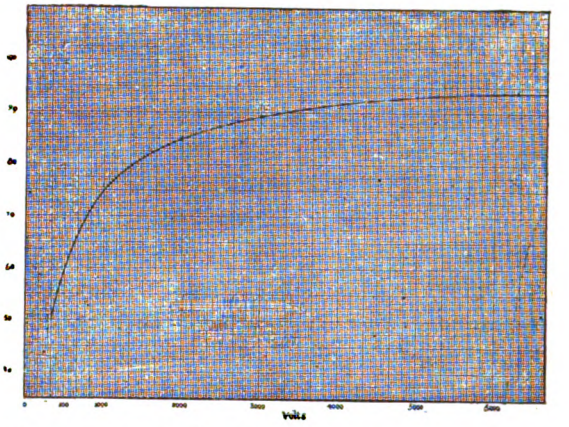


Fig. 3. — Courbe du rendement électrique d'une dynamo de Brush de 125 arcs (le rendement est porté en ordonnées).

puissance de la dynamo. La machine est absolument automatique d'une seule lampe à sa pleine puissance, et l'on peut impunément y appliquer ou en retirer toute la charge.

La figure 2 représente une caractéristique de cette machine sans régulateur. Tous les points en ont été relevés pour la position de commutation ne donnant pas d'étincelles. Elle est remarquable en ce que, après son inflexion elle tombe presque verticalement et réalise probablement la plus grande approximation d'intensité constante qui ait jamais été obtenue. En mettant plus de fil sur l'induit, il eût été possible de faire donner à la machine un courant constant de 9,6 ampères à toutes charges, sans dériver des inducteurs une fraction quelconque du courant; mais on aurait

Digitized by Google

ainsi augmenté la résistance intérieure de la

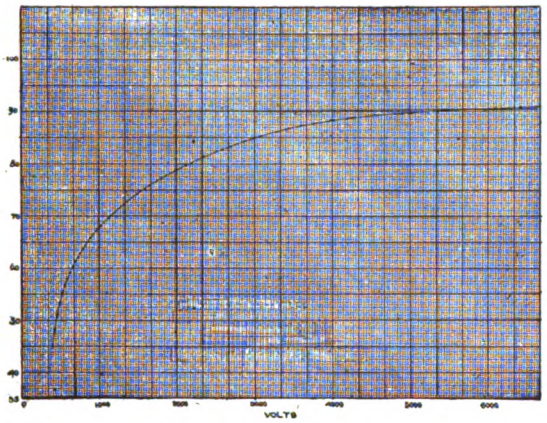


Fig. 4. — Courbe du rendement commercial d'une dynamo Brush de 125 arcs (le rendement est porté en ordonnées).

machine et elle aurait eu un moins bon rendement pour de faibles charges. Le mode de

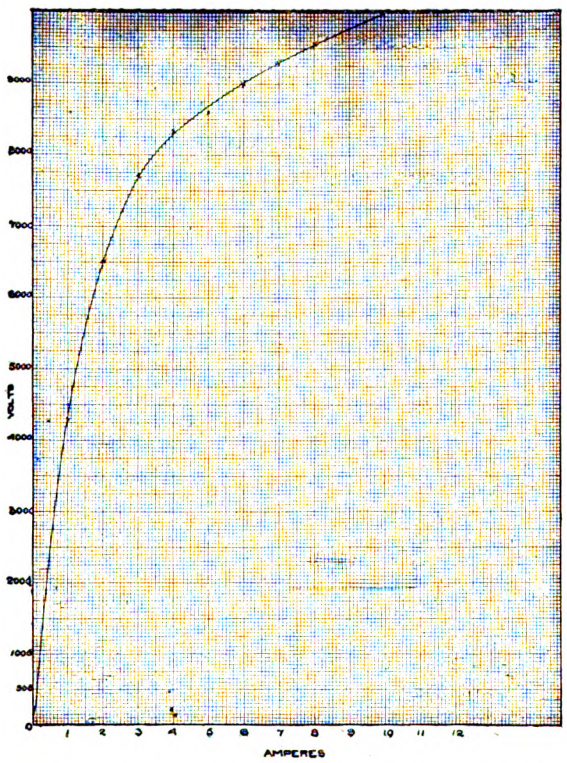


Fig. 5. — Courbe de perméabilité du circuit magnétique d'une dynamo Brush.

régulation employé permet de réduire, à quart de charge, la perte I^2R de 4 018 à 3 367 watts ou, en d'autres termes, fait gagner près d'un cheval électrique.

La figure 3 donne la courbe du rendement électrique. On remarquera que ce rendement atteint, à pleine charge, 94 p. 100, ce qui est dû à la grande quantité de fer dans l'induit qui réduit la réluctance du circuit magnétique, et à la forte section du fil employé tant dans les inducteurs que dans l'induit.

La courbe du rendement commercial est représentée dans la figure 4. A pleine charge il dépasse 90 p. 100 et se rapproche tout à fait du rendement des machines pour incandescence d'égale capacité; mais ce qu'il y a de plus remarquable, c'est le rendement élevé qu'elle indique à quart de charge.

Enfin on voit dans la figure 5 une courbe fournie par la machine excitée séparément, sans courant dans l'induit. Les ordonnées représentent la différence de potentiel, en volts, aux bornes de la machine, et les abscisses, l'intensité, en ampères, du courant d'excitation. C'est à proprement parler la courbe de perméabilité du circuit magnétique. La comparaison de la différence de potentiel ici obtenue pour une excitation de 9 ampères avec celle que donne la machine quand elle fonctionne montre l'énorme réaction d'induit. Cette courbe fournit également un nouvel élément pour l'étude des dynamos à arcs; on y voit que le circuit magnétique n'y est pas poussé à un point de saturation aussi élevé que dans les anciens types.

E. B.

Commutateur téléphonique Hayes et Spencer (1).

L'accroissement rapide et continu du nombre des abonnés des réseaux téléphoniques provoque des difficultés croissantes dans l'établissement rapide des communications. Le commutateur multiple a été porté à un haut degré de perfectionnement, mais dans les grands bureaux cette merveille même d'ingé-

(1) *Electrical Engineer*, avril 1895.

Digitized by Google

niosité laisse à désirer. Quand les appels se succèdent rapidement, un opérateur ne peut desservir qu'un nombre relativement petit

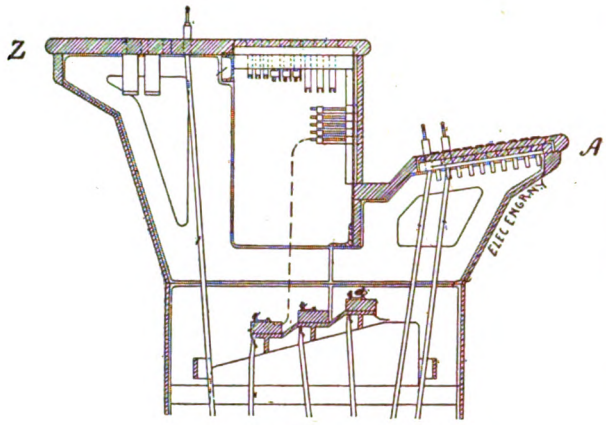


Fig. 1.

d'abonnés. A New-York, par exemple, une téléphoniste ne dessert guère en moyenne plus de 50 abonnés, et même ainsi elle se trouve par instants surchargée.

Le travail de l'opérateur se divise essentiellement en : 1° réponse à l'abonné; 2° établissement de la communication; 3° appel; 4° rupture de la communication avec quelques manœuvres accessoires, essai, etc., etc. Si donc ce travail pouvait être subdivisé de façon à laisser chaque opérateur en effectuer une certaine part, on gagnerait du temps et le service serait amélioré. C'est dans cette idée que MM. H. V. Hayes et Th. Spencer, de la Bell Telephone C° ont imaginé le commutateur téléphonique représenté en coupe et en plan par les figures 1 et 2. Comme on le voit, le commutateur a deux tables horizontales et une table intermédiaire verticale desservies par les opérateurs effectuant les manœuvres dépendant de la table horizontale antérieure. Par suite de cette disposition, on peut associer les avantages des types de commutateurs horizontaux et verticaux; en outre, on peut avoir plus d'opérateurs devant les tables antérieures pour effectuer les réponses d'appel, les établissements et ruptures de communications, tandis que d'autres desservent la partie supérieure du commutateur et effectuent la seconde part du travail, appels des abonnés, etc., etc.

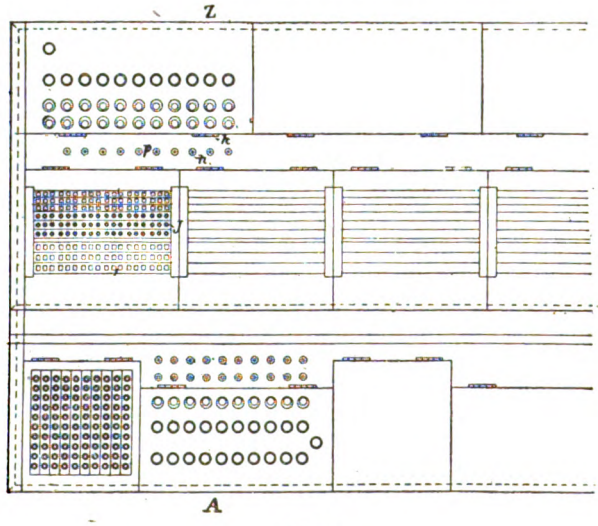


Fig. 2.

Pour abréger, désignons par A les opérateurs de la table antérieure du commutateur et par Z ceux de la région supérieure. En fonctionnement, lorsqu'un opérateur Z est averti par un opérateur A qu'on demande une liaison avec une ligne de sa table, il sait quelles sont les lignes de renvoi libres en regardant celles qui ne sont pas dans un jack et en désigne une par un numéro en invitant l'opérateur A à la relier à la ligne de l'appelant. Ceci permet de faire effectuer le reste du travail de la communication par le second opérateur, ou opérateur de renvoi, et en faisant désigner par cet opérateur le renvoi à employer; le travail du bureau central est matériellement allégé, puisque le premier opérateur est dispensé du soin d'essayer les lignes de renvoi jusqu'à en trouver un de libre.

Les fiches qui terminent les lignes de renvoi reposent sur la face supérieure devant les opérateurs Z et sont figurées derrière les jacks de lignes des abonnés. C'est le second opérateur Z qui appelle la ligne demandée et dispose à cet effet des clefs d'appel montées au bord de la table horizontale supérieure.

Les communications échangées entre les opérateurs A et Z, au moment de l'établissement d'une relation, sont transmises par un

Digitized by Google

circuit d'avertissement, et le circuit d'avertissement de chaque opérateur Z est à portée de tous les opérateurs A avec une clef à chaque section. Par cette disposition un système très simple d'avertissement sans circuits auxiliaires suffit pour toutes les communications entre les deux opérateurs intéressés dans l'établissement d'une communication ; leur seul élément additionnel est l'emploi du téléphone et du circuit d'avertissement pour transmettre l'ordre à effectuer.

E.-R.

Explorateur électrique sous-marin de Mac-Évoy.

Cet appareil est une disposition simple et pratique de la balance d'induction de Hughes, elle permet d'appliquer cet appareil à la découverte des masses métalliques, torpilles, enveloppes de navires, ancres, etc., perdues en mer et aussi à la recherche de filons métallifères (1).

Récemment il a été employé avec succès pour la recherche de l'épave du *Roussalka*, navire de la marine impériale russe, perdu dans le golfe de Finlande.

L'ensemble de cet explorateur n'est autre que celui de la balance d'induction de Hughes, son principe est le même (2).

Comme la balance d'induction de Hughes il se compose essentiellement de deux paires de bobines AB et A'B' (fig. 2). Les bobines AA' sont les bobines inductrices, le sens de l'enroulement ou des attaches est tel qu'un cou-

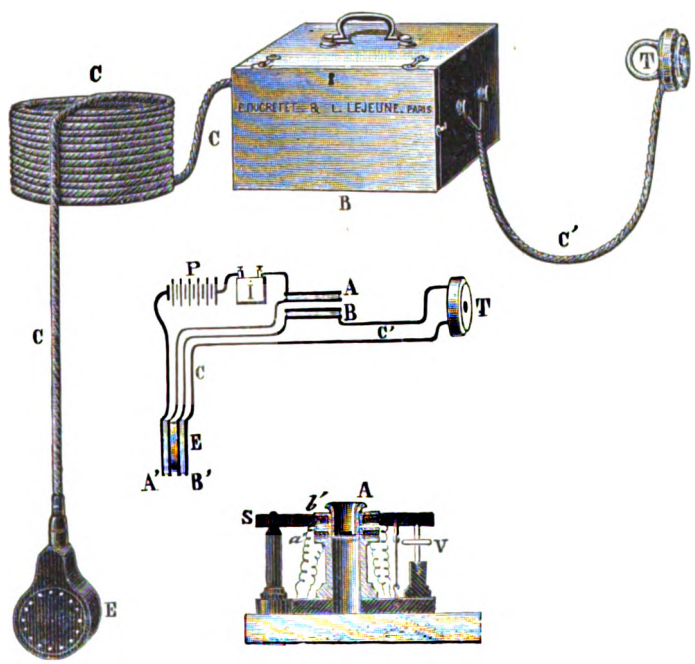


Fig. 1, 2 et 3.

rant qui les parcourt tourne dans les deux bobines en sens contraire ; dans ce circuit primaire sont intercalés une pile P et un interrupteur I à mouvement d'horlogerie, ce rhéotome commande une roue dentée avec un ressort en platine produisant les interruptions dans le circuit. En regard des deux bobines AA' se trouvent les deux bobines BB', elles constituent le circuit secondaire dans lequel se trouvent les téléphones T.

Les interruptions ou les variations de résistance produites dans le circuit primaire déve-

(1) Comptes rendus de la Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne, octobre 1882.

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, tome XIX (1880).

Digitized by Google

loppent des courants induits dans BB', ils seront perçus distinctement dans les téléphones T; mais si l'enroulement de BB' ou le sens des attaches est tel que l'action de B sur B' équilibre celle de A sur A', si en un mot, les courants induits tendent à se détruire mutuellement, le téléphone reste muet.

On arrive facilement à ce résultat : par construction en faisant les quatre bobines aussi exactement semblables qu'il est possible et en rapprochant ensuite les deux bobines A et B au moyen de l'appareil de réglage de la figure 3, jusqu'à ce que les téléphones n'accusent plus aucun bruit.

L'appareil ainsi réglé, si on approche une pièce métallique d'un des groupes de bobines, le trouble apporté dans l'induction détruit l'équilibre, et immédiatement les téléphones font entendre un bruit ; le son varie d'intensité suivant la distance de la masse métallique, sa nature et son orientation par rapport à celle des bobines.

L'explorateur Mac-Evoy (fig. 1) comprend tous ces organes : l'appareil de réglage de la figure 3, les piles et le rhéotome I sont placés dans la boîte B, portative.

Les bobines fixes A'B', qui constituent l'explorateur, sont fixées dans une monture E faite en matière isolante et hydrofuge fixée à l'extrémité d'un long câble C. La figure 1 montre cet ensemble.

L'explorateur E, introduit dans un trou de mine, ou placé dans le lit d'un fleuve ou en pleine mer, s'il est bien réglé au silence ainsi qu'il a été dit, fait entendre en T un son dès qu'il se trouve en présence d'une masse métallique.

Cet appareil est construit par MM. E. Ducretet et E. Lejeune, à Paris.

J. R.

Mode d'action d'un moteur monophasé synchrone, par F. Bedell et H.-J. Ryan (1).

Les relations entre les différentes variables des circuits à courants alternatifs ont été l'objet de bien des recherches théoriques, et ces recherches ont trouvé leurs principales applications pratiques dans les transformateurs. Les auteurs ont étendu ces études au mode d'action des moteurs monophasés synchrones en comparant le décalage de phase déterminé expérimentalement avec celui que permettent de prévoir les méthodes graphiques utilisant les vecteurs. Cette comparaison a montré une concordance très satisfaisante des résultats graphiques et expérimentaux.

Nous examinerons d'abord les actions qui ont lieu dans le moteur synchrone pour passer ensuite à la description des expériences.

Moteur synchrone. — Le rôle du commutateur dans une dynamo à courant continu consiste dans le redressement des courants alternatifs engendrés dans les bobines induites, tandis que le commutateur d'un moteur joue le rôle inverse. En prenant deux machines semblables à courant continu avec excitation séparée tournant à égale vitesse, l'une en génératrice, l'autre en réceptrice, nous pouvons évidemment supprimer les commutateurs et supposer les bobines d'armature des deux machines directement reliées entre elles. Nous obtenons ainsi une génératrice à courants alternatifs actionnant un moteur synchrone. S'il est vrai que tous les types de machines à courants alternatifs peuvent fonctionner comme moteurs, l'expérience a toutefois montré que certains types sont plus avantageux que d'autres, sous ce rapport. C'est ainsi que l'ancienne forme de machine avec induit plat sans fer ne se prête que difficilement à ce mode d'emploi, tandis que les machines modernes à induit denté sont très efficaces comme moteurs. La raison en est, que ces dernières machines présentent plus de self-induction et que la réaction de l'induit agit favorablement sur le champ.

Quand le courant ne présente pas de différence de phase par rapport à la force électromotrice induite, la réaction d'induit est insignifiante; elle ne renforce ni n'affaiblit le

(1) Communication faite au Franklin Institute.

Digitized by Google

champ. Si le courant est en retard, le champ se trouve affaibli et la force électromotrice diminuée; l'inverse a lieu lorsque le courant est en avance sur la force électromotrice.

La vitesse du moteur ne dépend que de la fréquence et du nombre de pôles, et n'est pas affectée par des variations de la force électromotrice ou de l'intensité du champ. Le circuit formé par deux armatures et la ligne contient toujours de la self-induction. Par suite, si la f. é. m. de la génératrice est supérieure à celle de la réceptrice et si l'on ferme le circuit au moment où le synchronisme est atteint,

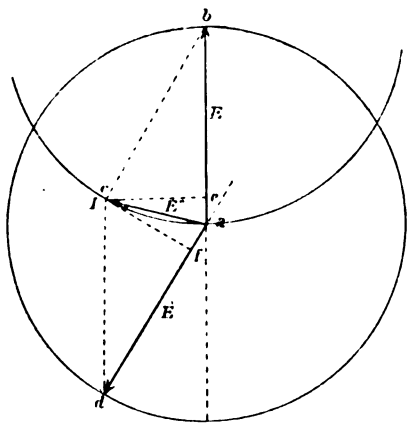


Fig. 1.

le courant dans la génératrice restera en arrière sur la tension ; le champ de la génératrice en sera affaibli et celui du moteur renforcé, ce qui tendra à égaliser automatiquement les tensions dans les deux machines.

Le diagramme vectoriel (fig. 1) explique l'action d'un moteur synchrone dont la f. é. m. E' est égale à celle de la génératrice E. Dans ce diagramme comme dans les suivants, la rotation est supposée se produire dans le sens inverse de celle des aiguilles d'une montre.

Dans la figure 1, on suppose encore que le circuit ne contienne pas de self-induction. On ferme le circuit au moment du synchronisme, et comme les f. é. m. sont égales et opposées, il ne peut s'établir de courant, et le moteur ne reçoit pas de travail mécanique. Le moteur restera donc en arrière, jusqu'à ce que le vecteur de sa force électromotrice occupe la position indiquée sur la figure. La f. é. m. résultante *a c* ou E'' produit un courant I de même sens et dont les composantes coïncident avec les forces électromotrices. Il ne peut donc pas se produire de transmission d'énergie.

Nous passerons sur les différents cas intermédiaires pour arriver immédiatement à celui (fig. 2) où les f. é. m. sont encore égales, mais où le circuit comporte de la self-induction et de la résistance. Le vecteur de la tension du moteur reste encore en arrière jusqu'à ce

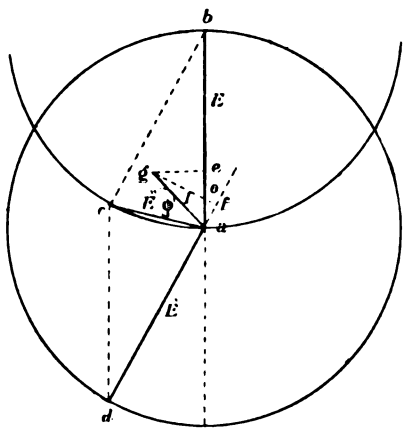


Fig. 2.

que la force électromotrice résultante soit E''. Force électromotrice, self-induction, résistance et fréquence étant connues, l'intensité du courant se détermine par la relation.

$$\text{courant} = \frac{\text{f. é. m. résultante}}{\text{impédance}}.$$

Le décalage de phase du courant est donné par le rapport entre la résistance et la réactance du circuit. La projection de I sur E' (*a f* dans la figure 2) est proportionnelle à la puissance fournie. Cette projection atteint dans une certaine position un maximum, au delà duquel le moteur s'arrête.

Dans la figure 3, E est supérieur à E', et le circuit contient de la résistance et de la self-induction. En général, la position de l'armature à charge nulle sera en avance sur la posi-

Digitized by Google

tion normale du synchronisme. Les tensions E et E′ sont déterminées dans la pratique par l'excitation du champ et les courants établis dans le moteur. Des armatures qui réagissent puissamment sur le champ inducteur égalisent plus ou moins les tensions de la génératrice et du moteur, et doivent nécessairement posséder beaucoup de self-induction. Ce sont là les conditions de bon fonctionnement.

On peut remarquer aussi que la masse de la partie mobile d'un moteur synchrone a de

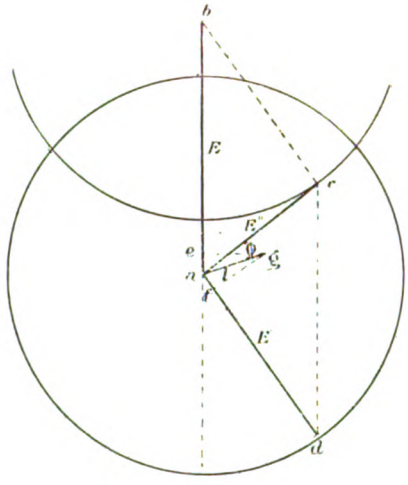


Fig. 3.

l'influence sur la stabilité du fonctionnement. Pendant chaque période complète, il existe deux courts intervalles pendant lesquels le moteur doit fonctionner en génératrice et renvoyer une petite partie de l'énergie à la génératrice. L'unique source d'énergie est alors l'inertie de l'armature. Les moteurs polyphasés sont indépendants de ce phénomène, parce qu'à aucun moment le moteur n'a à restituer de l'énergie en circuit.

Indicateur de phase. — Dans les recherches expérimentales on s'est servi de l'indicateur Bedell-Moler pour déterminer la différence angulaire entre les armatures des deux machines. Les arbres des deux machines sont placés l'un dans le prolongement de l'autre, leurs extrémités se touchant presque. L'indicateur de phase consiste en deux disques métalliques, fixés chacun à l'extrémité d'un des arbres. Ces disques, de 23 cm. de diamètre et de 8 mm. d'épaisseur, sont pourvus chacun de quatre fentes courbes de 1 mm. de largeur et de sens opposés dans les deux disques. Les machines employées ayant huit pôles, chaque fente correspond à une paire de pôles, et embrasse un angle de 90°. La courbe de la

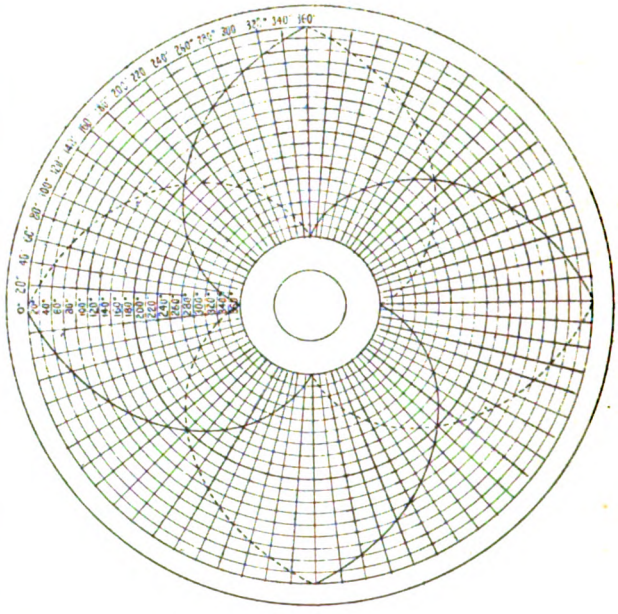


Fig. 4.

fente n'est autre chose qu'une spirale d'Archimède, de sorte que la distance du centre au point d'intersection des fentes des deux disques est proportionnelle à l'angle dont les disques sont décalés l'un par rapport à l'autre (fig. 4).

Le point d'intersection de deux fentes forme une petite ouverture traversée par un rayon lumineux que l'on observe dans un miroir. Dans la marche synchrone, tous les points d'intersection conservent la même distance au centre des disques, et l'on voit dans le miroir un cercle lumineux stationnaire. Mais lorsque la vitesse relative des deux armatures varie, le cercle lumineux s'élargit ou se rétrécit. Les cercles tracés sur les disques indiquent la différence de phase.

Digitized by Google

Génératrice et moteur. — Les expériences ont été faites avec deux alternateurs Westinghouse d'un demi-kilowatt environ. Pour amener le moteur au synchronisme, on s'est servi d'une petite machine Edison qui actionnait le moteur par courroie et dont on coupait le circuit au moment où le synchronisme était atteint. La caractéristique du moteur à vide a

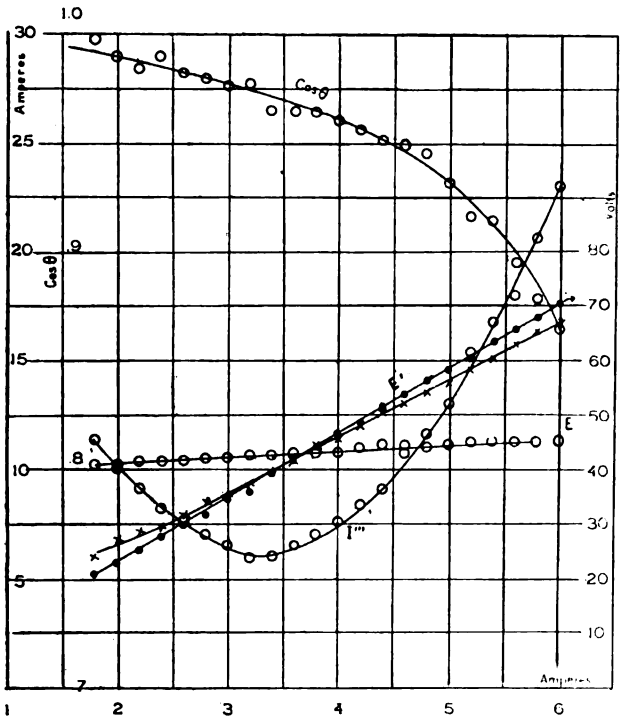


Fig. 5.

été déterminée à 2 080 tours par minute. Les valeurs obtenues sont les suivantes :

Courant d'excitation du moteur.	Différ. de pot. aux bornes.
1	9,9
1,5	16,7
2	22,7
2,5	28,7
3	34,5
3,5	40,5
4	46,4

La stabilité du moteur dépend essentiellement de l'excitation et de la self-induction dans le circuit extérieur. Quand on n'ajoute pas de self-induction au circuit, la marche du moteur est très instable. En faisant varier l'excitation, on peut amener le courant dans l'induit à un minimum de 3 ampères, mais la moindre surcharge fait caler le moteur.

On a ensuite augmenté la stabilité en ajoutant une self-induction formée d'une bobine sans fer. Le moteur fonctionnait alors avec un courant d'excitation compris entre 0,6 et 2,2 ampères ou entre 3 et 3,6 ampères, tandis que tout fonctionnement était impossible entre 2,2 et 3 ampères d'excitation. Enfin, en introduisant un noyau de fer dans la bobine de self-induction, les meilleures conditions de stabilité ont pu être obtenues, dans lesquelles il était possible de faire varier le courant d'excitation entre de grandes limites. La courbe I''' de la figure 5 donne la relation du courant d'armature avec l'intensité de l'excitation dans ces conditions.

Le coefficient de self-induction de l'induit du moteur est de 0,00032 henry et celui de la bobine additionnelle de 0,00168 henry. La résistance totale du circuit est de 0,31 ohm. L'excitation du champ a peu d'influence sur la valeur de la self-induction dans l'induit, mais celle-ci varie un peu avec le courant dans l'induit. Toutefois, l'erreur commise en supposant la self-induction constante, est peu importante.

Méthode expérimentale. — La génératrice tournait à 2 080 tours par minute, et son courant d'excitation, fourni par une batterie d'accumulateurs, était maintenu à 3,5 ampères. Le moteur était amené à la vitesse voulue et introduit en circuit quand le cercle lumineux de l'indicateur de phase montrait que E' était décalé de 180° par rapport à E. Le moteur était chargé par la petite machine Edison qui tournait à vide. Le courant d'excitation du moteur, emprunté à une batterie d'accumulateurs, pouvait varier par échelons de 0,2 ampère entre 1,8 et 6 ampères.

Les grandeurs nécessaires à la construction des diagrammes sont : f. é. m. E de la génératrice, force contre-électromotrice E' du moteur, f. é. m, résultante E'', courant dans l'induit I''', décalage de phase φ et vitesses angulaires

Digitized by Google

$\omega = 2\pi \times$ fréquence. Ont été mesurés, en outre, le courant d'excitation de la génératrice I', celui du moteur I'' et la différence de phase à l'indicateur θ.

On a mesuré les intensités au dynamomètre Siemens. La force contre-électromotrice du moteur est tirée de la caractéristique, sans tenir compte de la réaction d'induit. Les f. é. m. E, E' et E'' doivent se faire équilibre. La f. é. m. résultante E'' est alors équivalente au produit du courant I''' par l'impédance.

Le décalage entre le courant et la f. é. m. résultante est déterminé par

$$\Phi = \frac{\text{réactance}}{\text{résistance}}.$$

La résistance et la self-induction étant supposées constantes, Φ est constant, et dans notre cas de 82°,5. La phase θ du moteur par rapport à la génératrice correspond exactement à celle de leurs f. é. m., que l'on détermine graphiquement par le procédé qu'indique la figure 2. Dans cette figure, les grandeurs E, E' et E'' sont connues, et leurs positions relatives déterminées. L'angle compris entre la f. é. m. résultante *ac* et le courant est également constant ; et on peut donc porter dans le diagramme le vecteur du courant. C'est de cette façon que les auteurs ont construit 22 diagrammes résultant de 22 séries de mesures.

L'angle *bad* donne la différence de phase entre les induits de deux machines et doit, si la construction est exacte, coïncider avec la valeur observée à l'indicateur de phase. La puissance fournie par la génératrice est égale au produit de E par *ae*, tandis que la puissance absorbée par le moteur est représentée par le produit de E' par *af*. Les pertes dans le fer du moteur augmentent avec l'excitation. La différence entre l'énergie absorbée et celle transformée en énergie mécanique, donne la quantité perdue dans le cuivre de l'induit. Nous avons ainsi, par exemple, d'après la cinquième série d'expériences :

Watts absorbés	41,5	× 3,85	= 160
Watts mécaniques . . .	29,7	× 5,0	= 148
Watts perdus en RI^2. .	160	— 148	= 12

Les auteurs donnent ensuite une comparaison des valeurs observées avec celles calculées. Des 22 séries de mesures nous ne retiendrons que les nos 1, 5 et 22 dont les résultats sont donnés par les courbes de la figure 5, qui indiquent d'ailleurs suffisamment les résultats d'observation.

La courbe I''' donne le courant dans l'armature pour différentes valeurs du courant d'excitation. Ce courant I''' diminue à mesure que sa phase se rapproche de celle de la force électromotrice et augmente de nouveau lorsque le point de coïncidence est dépassé.

L'influence de la réaction d'armature se manifeste très nettement dans la courbe E de la figure 5. On voit que la f. é. m. de la génératrice augmente, quoique l'excitation et la vitesse restent constantes. Dans le moteur, la réaction d'induit produit l'effet contraire. A faible excitation, le courant induit renforce le champ, et la courbe E' passe au-dessous de la courbe de la différence de potentiel ; à forte excitation, au contraire, c'est la courbe E' qui présente les plus grandes valeurs.

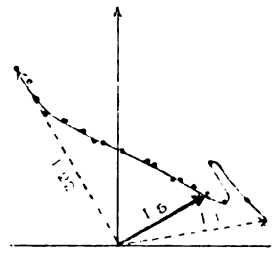


Fig. 6.

Les diagrammes et les séries d'expériences montrent qu'à faible excitation du moteur, la phase du courant est retardée, et que l'induit agit comme une self-induction. Avec une excitation plus intense, la phase du courant arrive à dépasser au contraire celle de la force électromotrice, et le moteur exerce dès lors dans le circuit la même action qu'une capacité.

Les variations de grandeur et de position du courant dans l'induit, sous l'influence de l'excitation variable, sont représentées par la figure 6. A très faible excitation (expérience 1)

Digitized by Google

le vecteur du courant occupe la position I_1. Quand on augmente l'excitation, le rayon vecteur passe successivement par les différentes positions indiquées par la courbe. Le vecteur I_5 correspond, par exemple, à la cinquième série d'expériences et le vecteur I_{22} à la série 22.

A force électromotrice constante, l'énergie fournie au moteur est proportionnelle aux ordonnées de cette courbe. A charge constante de la génératrice, la courbe doit donc avoir la forme d'une droite horizontale. Dans notre cas, l'augmentation de valeur des ordonnées de droite à gauche est due à l'excédent de puissance qu'il est nécessaire de fournir au moteur pour compenser les pertes croissant avec l'excitation. L'aspect irrégulier de la première partie de la courbe provient de l'instabilité du moteur dans les premières expériences.

Comme contrôle de l'exactitude de la construction graphique, les auteurs ont comparé la valeur calculée de la différence de phase avec l'angle θ lue sur l'indicateur de phase. La concordance des deux séries de valeurs est très satisfaisante (1).

A. H.

(1) Nous ferons remarquer ici que les diagrammes polaires de MM. Bedell et Ryan sont tout à fait analogues à ceux que notre collaborateur M. A. Blondel a publiés à diverses reprises sur ce même sujet dans la *Lumière Electrique* et le *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*.

Celui-ci a également, dans une lettre publiée par l'*Elektrotechnische Zeitschrift* (25 avril 1895), rappelé qu'il a indiqué un an avant M. Mordey la loi que MM. Bedell et Ryan attribuent à celui-ci. Il a signalé en même temps que le moteur étudié par ces auteurs présentent des propriétés toutes spéciales qui ne permettent pas d'accepter leurs conclusions comme ayant une valeur générale. La discontinuité singulière relevée dans l'une des courbes (non reproduite ici) ne se rencontre pas en effet dans les moteurs de construction française donnant une f. é. m. peu éloignée de la sinusoïde, et parait devoir être attribuée à la présence d'une forte harmonique de rang 3 dans cette f. é. m. L'effet utile de la self-induction dans les expériences de MM. Bedell et Ryan serait alors facile à expliquer par l'extinction de la 3e harmonique. Tant que ce point n'aura pas été éclairci, on ne saurait donc considérer comme avantageuse en général, l'introduction de self-induction dans le circuit d'un moteur synchrone. Quant aux courbes en V calculées par M. Steinmetz, M. Blondel signale que dans son mode de représentation polaire elles se réduisent à de simples cercles, ce qui donne l'avantage à ce genre d'épreuves. N. D. L. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Formes diverses de la résonance multiple, par Bjerknes (1).

Les belles expériences que vient de publier le professeur Zehnder (2) semblent au premier abord entraîner absolument la conclusion que les rayons de force électrique, qu'envoie un oscillateur de Hertz, sont dispersés en un spectre par un réseau. Cette conclusion renferme pourtant une erreur, et c'est la même erreur que l'on commet quand on veut conclure des expériences de MM. Sarasin et de la Rive à l'existence objective de systèmes d'ondes stationnaires en nombre égal à celui des nœuds que les résonateurs permettent d'observer. Les expériences les plus variées pourraient rendre très spécieuse la même conclusion erronée et il importe de prêter la plus grande attention.

La conclusion est basée sur l'analogie actuellement reconnue par tout le monde entre les ondes électriques et les ondes lumineuses. Mais il y a deux circonstances qu'il ne faut

(1). *Wied. Ann.*, t. LIV, p. 58.

Nous donnons la traduction *in extenso* de ce mémoire dans lequel M. Bjerknes a exposé, sans calculs et de la façon la plus générale, sa théorie de la résonance multiple. Cette théorie, que M. Poincaré avait également indiquée, a été soumise au contrôle de l'expérience et semble être aujourd'hui admise même par les savants qui ont le plus insisté sur le démenti que les expériences de MM. Sarazin et de la Rive semblaient donner à une des idées fondamentales de Hertz. Mais la question vient d'entrer dans une nouvelle phase, depuis que MM. Garbasso et Aschkinass, d'une part, M. Poincaré, d'autre part (dans son livre sur *Les radiations électriques*), ont attiré l'attention sur le fait que toute vibration peut toujours être considérée comme la résultante d'une infinité de vibrations harmoniques formant un spectre continu. C.R.

(2). L. Zehnder. *Wied. Ann.*, t. LII, p. 162, 1894.

Digitized by Google

pas oublier et qui constituent une différence essentielle :

a) Les ondes lumineuses sont entretenues continuellement, et par suite ne sont pas amorties ; les ondes électriques ne sont pas entretenues continuellement, et par suite sont amorties.

b) Les ondes lumineuses sont observées avec un appareil indifférent ; les ondes électriques, au contraire — dans tous les cas où il y a une résonance multiple — avec les résonateurs qui sont sensibles à un mode spécial d'excitation.

Ces deux particularités des conditions expérimentales — je répète : l'amortissement de l'oscillateur de Hertz et l'existence de vibrations du résonateur de Hertz — amènent la production de ces phénomènes que MM. Sarazin et de la Rive, d'abord, ensuite M. Zehnder, ont observés.

C'est ce que je vais établir d'une façon tout à fait élémentaire, mais sous une forme générale, qui s'applique également aux expériences de M. Zehnder et à celles de MM. Sarasin et de la Rive. Il n'y a aucune difficulté à donner à cette démonstration la forme d'un calcul exact ; le calcul se trouve dans mon mémoire sur la résonance multiple (1) ; il suffit et on trouvera toujours facilement le moyen de généraliser les hypothèses et la signification des notations.

2. Des ondes amorties provenant de la même source, amenées à interférer après avoir parcouru des chemins différents, ne peuvent pas, en général, se détruire mutuellement ; la différence de marche des ondes est, par suite de l'amortissement, liée naturellement à une différence d'intensité. Il en résulte que des systèmes d'ondes stationnaires provenant d'ondes amorties, ne peuvent jamais présenter des nœuds bien définis, à l'exception des nœuds singuliers où la différence de marche est nulle, tels que les nœuds qui se trouvent sur la surface réfléchissante d'un miroir. Il en résulte également que dans la diffraction par les réseaux, il ne se produit d'ombre parfaite dans aucun azimuth.

Explore-t-on le champ des systèmes d'ondes interférents avec un appareil indifférent, les résultats sont comparables à ceux de l'optique, sauf que les nœuds et les ventres, les rayons et les ombres, paraissent un peu confus, Parmi ces appareils, on peut compter le micromètre à étincelles, l'électromètre, de petits éléments thermo-électriques ou des fils de bolomètre, tant qu'ils ne font pas partie d'un résonateur.

En effet, les vibrations propres que peuvent posséder ces appareils sont généralement d'une toute autre grandeur que celles des vibrations de l'oscillateur. On a souvent observé des ondes stationnaires avec ces appareils, et les « courbes d'interférence » obtenues présentent toujours les maxima et minima prévus, nets d'abord, puis perdant leur netteté à mesure que s'accroît la différence de marche.

3. Étudions maintenant comment répond un *résonateur* dans le champ des ondes interférentes.

D'abord le résonateur est naturellement soumis à la même action que l'appareil indifférent : dans les ventres s'exercent des actions intenses, dans les nœuds des actions faibles, ce qui doit, toutes choses égales, d'ailleurs, produire un effet plus intense ou plus faible.

D'autre part, il faut aussi se rappeler que ce qui passe dans un résonateur ne dépend pas seulement de l'intensité de l'impulsion, mais aussi de la durée qui sépare les impulsions successives. Une onde positive et une onde négative du même train d'ondes se suivent dans le champ à un intervalle constant, ce qui ne produit une excitation énergique que quand l'oscillateur et le résonateur sont accordés pour l'isochronisme. Au contraire, l'intervalle de temps qui sépare l'arrivée d'une onde d'un des trains et celle d'une onde de l'autre, varie avec la différence de marche des ondes d'un point à l'autre du champ. Il y a donc nécessairement des régions pour lesquelles cet intervalle est égal à la demi-période du résonateur : c'est alors que des vi-

(1). BJERKNES. *Wied. Annal.*, t. XLIV, p. 92.

Digitized by Google

brations propres sont produites avec le plus d'intensité. De même, il y a des régions où l'intervalle de temps est le quart de la période vibratoire du résonateur où, par suite, toute la force de la deuxième onde est employée à affaiblir le mouvement produit par la première.

En général, on a donc à prévoir une excitation maxima ou minima du résonateur dans deux groupes de régions : d'abord là où les ondes interférentes de l'oscillateur ont véritablement des maxima et des minima; ensuite, là où la différence de marche des ondes oscillatoires est un multiple, pair ou impair, du quart de la période du résonateur.

Si le résonateur est fortement amorti par rapport à l'oscillateur, les nœuds et les ventres qui existent objectivement sont relativement bien marqués, tandis que le résonateur est relativement peu sensible à l'excitation de vibrations propres. Le résonateur se conduit donc comme un appareil indifférent, qui ne décèle que les nœuds et les ventres existant objectivement.

Si, au contraire, l'amortissement de l'oscillateur est relativement fort et celui du résonateur relativement faible, ce qui, on s'en rend facilement compte, est le cas, pour la plupart des appareils de Hertz, les nœuds et les ventres réels des ondes de l'oscillateur deviennent relativement indistincts, tandis que le résonateur est très sensible à toute excitation des vibrations propres. Dans ces conditions, différents résonateurs, introduits dans le système des ondes stationnaires de l'oscillateur, présentent, suivant leur durée de vibration, différents systèmes de maxima et de minima, comme s'il existait réellement des ondes de toutes les longueurs possibles. Dans les expériences de réseaux, les différents résonateurs devraient vibrer avec une intensité maxima, chacun dans un azimuth, exactement comme si les ondes de l'oscillateur étaient étalées en un spectre.

4. Ainsi, l'amortissement de l'oscillateur et l'existence de vibrations du résonateur étant admis, la production des phénomènes que l'on peut appeler formes diverses de la résonance multiple, est une nécessité logique. L'idée que l'explication de ces phénomènes doit exiger une coexistence de plusieurs vibrations dans l'oscillateur, ou tout au moins une certaine indétermination de la période de cet instrument, repose donc sur une conclusion erronée. Ceci ne veut pas dire que ces hypothèses sont détruites, car des harmoniques supérieurs par exemple, pourraient jouer un rôle accessoire, sans que les expériences purement qualificatives puissent décider si la vibration du résonateur doit être attribuée à une seule cause ou à deux causes agissant simultanément.

Pour trancher définitivement cette question fondamentale de la nature du mouvement électrique dans l'oscillateur de Hertz, la méthode la plus sûre semble être de n'employer que des appareils d'observation indifférents, pour éviter toute erreur résultant de l'introduction des vibrations propres du résonateur. Les courbes d'interférence qu'on a obtenues de cette façon par la mesure des ondes propagées par les fils ne semblent indiquer jusqu'ici que la présence d'une seule vibration simusoïdale amortie.

5. Enfin, pour vérifier l'explication de la résonance multiple, il faut faire des mesures quantitatives sur ce phénomène pris sous ses diverses formes. Jusqu'ici il n'y a, à ma connaissance, qu'un seul essai dans cette direcrection. Dans un travail très intéressant, MM. Klemencic et Czermak (1) ont déterminé les courbes d'interférence qu'un résonateur muni d'un miroir secondaire donne sous l'influence des ondes interférentes de l'oscillateur. Mais dans le calcul de ces expériences, il s'est glissé une erreur, qui se retrouve fréquemment dans les considérations qualitatives : le résonateur est considéré comme un appareil indifférent. Dans les formules, le mouvement du résonateur est simplement proportionnel à la force des ondes de l'oscillateur, et on néglige les vibrations propres. Si l'on in-

(1) KLEMENCIC et CZERMAK. — *Wied. Ann.*, t. L, p. 174, 1893.

Digitized by Google

troduit sous le signe d'intégration l'expression complète du mouvement dans le résonateur, en tenant compte correctement des limites d'intégration, on trouve que l'équation de la courbe d'interférence contient deux longueurs d'onde et deux courbes, d'une irrégularité inattendue, que ces physiciens avaient observées loin de la résonance. Le décrément logarithmique 0,39 qui est donné comme celui de l'oscillateur est, d'après la théorie, une certaine moyenne entre les décréments de l'oscillateur et du résonateur. D'ailleurs cette valeur moyenne, dans le cas où les deux décréments ne diffèrent vraisemblablement pas beaucoup l'un de l'autre, peut être considérée comme suffisamment exacte pour chacun des deux appareils.

De nouvelles déterminations de ces courbes d'interférence par le procédé de MM. Klemencic et Czermak présentent donc un intérêt particulier; elles fourniraient des données définitives sur le décrément logarithmique des résonateurs. L'expérience sera particulièrement simple avec les résonateurs faiblement amortis, dont l'amortissement n'est connu jusqu'ici que par des évaluations extrêmement grossières. Dans ce cas limite, l'équation de la courbe d'interférence ne dépendra approximativement que de la longueur d'onde et du décrément logarithmique du résonateur et on pourra déterminer les valeurs de ces constantes aussi simplement qu'on les déduit, pour l'oscillateur, des courbes d'interférence obtenues avec des appareils indifférents.

6. *Addition.* — Dans un travail récent, MM. Garbasso et Aschkinass (1) défendent de nouveau la théorie de la radiation complexe. La démonstration physique est cherchée dans le fait que différents résonateurs vibrent avec une intensité maxima dans différents azimuths, ce qui, on l'a montré plus haut, ne fournit aucune preuve décisive d'une décomposition spectrale objective. Une fonction peut toujours être représentée par la somme d'un nombre quelconque d'autres fonctions, et par suite on peut édifier autant de théories inattaquables sur le rayonnement de l'oscillateur de Hertz qu'on peut trouver de décompositions d'une fonction en sommes d'autres fonctions.

Une discussion sur la simplicité ou la complexité de la radiation au point de vue général n'a donc aucun sens et ne pourra devenir fructueuse que quand les partisans de la complexité de la radiation auront donné l'expression mathématique explicite de tous les mouvements composants qu'ils pensent exister dans l'onde de l'oscillateur. On pourra alors, par des sommations, constater s'il y a ou non identité avec le mouvement résultant que les partisans de la simplicité de la radiation ont admis et dont ils ont donné depuis longtemps l'expression mathématique, non comme une hypothèse *ad hoc*, mais comme une conséquence de la théorie générale des vibrations électriques.

C. R.

(1) GARBASSO et ASCHKINASS. — *Wied. Ann.*, t. III, p. 534, 1894.

Détermination du gradient du potentiel dans la partie positive de la décharge lumineuse, par Herz. (1).

Hittorf, après avoir montré qu'on peut produire une décharge lumineuse par un courant constant, étudia la variation du potentiel intérieur du gaz. Pour la partie négative du courant, ces recherches ont été complétées par celles de M. Schuster et Warburg. M. Herz étudie, dans la partie positive, la différence de potentiel par unité de longueur, où suivant le terme introduit par J. J. Thomson, le *gradient* du potentiel. Ces recherches portent exclusivement sur la partie de la décharge où l'éclat du gaz est continu.

La méthode de mesure est celle de Warren de la Rue et Müller et de Hittorf. En deux sections d'une masse de gaz traversée par un courant constant et dans la région où la lueur est continue, sont introduites deux sondes, constituées par de minces fils de platine. Ces deux sondes sont reliées aux deux paires de quadrants d'un électromètre de Thomson; on

(1) *Wied. Ann.*, t. LIV, p. 244.

Digitized by Google

met l'aiguille en communication successivement avec chaque paire de quadrants, la moyenne des impulsions de l'électromètre est proportionnelle au carré de la différence de potentiel à déterminer. L'électromètre était gradué à l'aide de deux tubes contenant de l'azote exempt d'oxygène pour lesquels M. Warburg avait déterminé la chute de potentiel à la cathode; les deux valeurs de la constante concordent à 1 p. 100 près. Enfin on a constaté, par un étalonnage direct à l'aide d'une pile Latimer-Clark, que les chutes de potentiel mesurées par M. Warburg n'avaient pas varié au bout de quatre ans.

Les recherches n'ont porté que sur l'azote et l'hydrogène; l'azote est extrait de l'air par le phosphore blanc chauffé; on absorbe les dernières traces d'oxygène par le sodium naissant. Le courant était fourni par une batterie Planté de 10 grands éléments; le circuit contenait une résistance à iodure de cadmium, un téléphone permettant de juger de la constance du courant et un galvanomètre dont l'image était déviée par un courant de $5\,10^{-6}$ ampères.

La principale difficulté consiste dans la réalisation, sur une longueur suffisante, d'une lueur continue, sans stries, dans des limites assez larges de variation d'intensité, de la pression et du diamètre du tube. La constance du courant dépend surtout de la netteté des surfaces : on a constitué les cathodes par des fils de platine de 2 mm. de diamètre sur 25 mm. de large, soudés à des fils plus fins qui traversaient les parois du tube; les surfaces avaient été nettoyées par pulvérisation.

Avec l'hydrogène, les difficultés sont encore plus grandes qu'avec l'azote ; il est nécessaire qu'au voisinage de l'anode, il n'y ait pas de région qui ne soit pas traversée par le courant ; l'anode doit donc être fixée dans l'axe du tube et présenter une faible longueur. Des sondes de 0,3 mm. d'épaisseur, employées par l'azote, empêchant la constance du courant, il faut employer des fils de 0,05 mm. qu'on tend à travers le tube en les soudant des deux côtés.

Les premières expériences montrèrent que, quand on prend les précautions convenables, le gradient varie beaucoup plus lentement, et cela aussi bien avec l'azote parfaitement exempt d'oxygène qu'avec l'azote incomplètement purifié.

Le gradient varie en sens inverse de l'intensité. Le temps ne semble pas exercer d'influence; après une variation cyclique le gradient reprend la même valeur. Le gradient v est relié au courant par une équation de la forme

$$v = v_0 - b\,(i - i_0),$$

où b semble diminuer avec la pression du gaz; il varie très notablement avec le diamètre du tube et en sens inverse.

Hittorf n'a pas observé cette variation de v en fonction de i ; mais il opérait avec un tube de 55 mm. pour lequel b est très petit. D'après le même auteur, le gradient serait indépendant de l'intensité du courant quand la densité du gaz reste constante. Il se pourrait donc que l'échauffement du gaz et la diminution corrélative de densité fût la cause de la variation observée dans les expériences actuelles : M. Herz a cherché ce qu'il fallait penser de cette hypothèse. En mettant en communication les tubes, primitivement fermés, avec la pompe qui avait servi à les remplir, on ne constatait pas de variation quand les tubes étaient grands. Avec de petits tubes, le gradient commençait par diminuer ; en même temps le courant augmentait, sans que rien ne fût changé dans le reste du circuit. Il faut en conclure que, dans ce cas, la densité du gaz diminuait par suite de l'échauffement. Le facteur b conserve une valeur sensiblement indépendante de la pression, tandis que l'hypothèse précédente conduirait à penser qu'il doit diminuer notablement avec la pression. Il semble donc que la variation de densité n'est pas la seule cause de la variation du gradient.

L'influence de la pression et du diamètre du tube a été étudiée avec un courant de 0,0012 ampères. Le gradient varie en sens inverse du diamètre du tube ; voici quelques va-

Digitized by Google

leurs de la différence de potentiel, en volts, entre des sondes distantes de 20 mm. (c'est le diamètre du tube) et la pression en millimètres.

p	$d = 10^{mm}$	$d = 15^{mm}$	$d = 20^{mm}$
4,32	214,0	196,6	180,9
2,98	154,8	150,8	140,6

Il semblerait plus rationnel de comparer les valeurs des gradients pour une même valeur de la densité de courant, mais l'auteur juge trop hasardeuse l'hypothèse d'une répartition uniforme au courant dans toute la section du tube.

M. G. Wiedemann a déduit de l'étude de tubes étroits à (1,5 0,76 mm.) que le produit vi était à peu près indépendant de la section ; par suite, si l'on admet que toute l'énergie électrique se transforme en chaleur, la quantité de chaleur dégagée par unité de temps serait la même ; ce résultat n'est pas vérifié par les présentes recherches.

Les nombres cités plus haut permettent d'établir que le gradient ne croît pas proportionnellement à la pression du gaz, mais moins vite qu'elle ; le quotient $\frac{c}{p}$ (où c indique les volts et p les millimètres de mercure) varie de 41,4 ($p = 7,00$) à 52,2 ($p = 2,98$) dans un tube de 10 cm. de diamètre, la distance des sondes étant 20 mm. et le courant 0,0012 ampères.

Les expériences de Warburg ont établi que de petites quantités d'impuretés dans l'azote font varier notablement la chute de potentiel à la cathode. Il a constaté que : 1° dans l'azote sec, contenant peu d'oxygène, la chute de potentiel va en croissant par suite d'une réaction entre l'azote et l'oxygène, et peut atteindre 410 volts ; 2° une petite quantité de vapeur d'eau empêche cette réaction ; la chute de potentiel ne peut dépasser 260 volts ; 3° la chute de potentiel est un peu plus faible (232 volts pour une cathode de platine) dans l'azote parfaitement sec et pur d'oxygène. M. Herz a constaté, dans le premier cas, une variation notable du gradient avec le temps ; la présence de la vapeur d'eau ne semble exercer aucune influence ; enfin le gradient est plus grand dans l'azote qui contient de l'oxygène que dans le gaz pur.

Pour l'hydrogène, les expériences sont beaucoup moins variées ; le gradient diminue aussi quand l'intensité du courant augmente ; le coefficient de variation suit les mêmes lois que pour l'azote ; entre 4 et 8 mm. de pression pour un courant de 0,601, le gradient est environ 1,4 fois plus grand pour l'azote pur que pour l'hydrogène.

C. R.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Paris. — Traction. Le Conseil municipal s'est occupé récemment d'un projet de tramway à établir entre la place Cadet et la rue Championnet. Ce projet, qui remonte à 1882, envisageait à cette époque la traction funiculaire.

Mais l'installation de la traction funiculaire dans cette partie de la ville n'allait pas sans difficultés. Le trajet projeté, qui partait de la place Cadet pour aboutir à la rue Championnet, par les rues Rochechouart, de Clignancourt, Ramey, Hermel, Ordener et du Poteau, comprend plusieurs courbes de faible rayon dont trois se succèdent, autour de la mairie du XVIII^e^ arrondissement, sur une distance de 150 mètres seulement, et dont une est presque à angle droit.

Ce trajet comprend aussi des rampes très inégales et sur deux versants. Il y a, dans cette configuration du sol, des difficultés techniques sérieuses pour le fonctionnement régulier de la traction funiculaire. Les efforts exercés sur les différentes parties du câble devenant très variables, on devait craindre des ruptures fréquentes. La série des déconvenues auxquelles avait longtemps abouti l'exploitation du funiculaire de Belleville, qui se trouve cependant à cet égard dans des conditions moins défavorables, puisqu'il n'a à gravir qu'une seule rampe continue et des rampes insignifiantes, n'était pas faite pour diminuer cette crainte.

C'est ce que faisait plus particulièrement remar-

Digitized by Google

quer un nouveau demandeur en concession intervenu seulement le 27 janvier 1894, la Société d'études françaises et étrangères, qui proposait un système de traction électrique par accumulateurs.

C'est ainsi que la première Commission a été amenée à se demander s'il ne serait pas préférable d'adopter la traction électrique qui a pris depuis quelques années, de si grands développements.

Après avoir successivement écarté le trolley comme trop disgracieux, les accumulateurs comme trop coûteux et le système Claret et Wuilleumier comme insuffisamment consacré par l'expérience, la Commission a envoyé une délégation à Budapest, et cette délégation a été unanime à reconnaître la supériorité du tramway électrique à conducteurs souterrains.

Le rapporteur, M. Puech, conclut donc à l'adoption de ce mode de traction et le Conseil municipal s'est rallié à cette manière de voir en adoptant le projet de délibération suivant :

« M. le préfet de la Seine est autorisé à provoquer de la part de M. Passedoit et de la Société d'études françaises et étrangères des offres pour l'obtention de la concession du tramway à traction électrique par conducteurs souterrains allant de la place Cadet à la porte Montmartre. »

Saint-Amand. — Eclairage. La station électrique de cette ville s'étant vu dresser plusieurs contraventions et refuser l'autorisation d'établir des fils sur la grande voirie, les consommateurs de lumière électrique viennent de constituer un syndicat pour produire eux-mêmes leur éclairage. Ils espèrent qu'ainsi ils ne se heurteront pas aux mêmes difficultés que la station électrique.

Besançon. — Traction. La question des tramways électriques vient de faire un nouveau pas ; nous apprenons en effet que la Chambre de commerce, appelée à se prononcer sur l'utilité de l'établissement de tramways électriques à Besançon, a émis l'avis suivant :

« Considérant que la création des tramways projetés ne pourrait que favoriser l'activité commerciale et industrielle à Besançon ;

« Considérant, d'ailleurs, que l'enquête n'a révélé aucune objection relative à l'utilité générale du projet, et que les observations présentées n'ont eu en vue que des modifications de détail réclamées dans un intérêt privé ; que la Chambre de commerce n'a pas mission de se prononcer sur des observations qu'il appartient à l'Administration d'examiner au moment de la production du projet définitif d'exécution :

« Emet un *avis favorable* à la déclaration d'utilité publique du projet d'établissement des tramways urbains et suburbains de la ville de Besançon. »

Dieppe. — Accidents. Plusieurs extinctions successives se sont produites il y a quelques jours chez les abonnés de la Société d'éclairage électrique. Ces accidents étaient dus à la malveillance. On a constaté, en effet, que quelqu'un s'était introduit dans l'usine la nuit précédente et avait jeté du sable dans les coussinets de l'arbre de la première machine à vapeur, desserré les écrous des paliers de la seconde machine, huilé les courroies, dévissé le plateau de cylindre de la pompe alimentaire, etc., etc., et enfin mis la troisième machine dans l'impossibilité de marcher en cassant un joint de la conduite de vapeur.

Espérons que l'enquête fera découvrir le ou les auteurs de ces méfaits, qui auraient pu causer de graves accidents aux ouvriers chargés de la surveillance.

Lille. — Éclairage. Il est fortement question de substituer l'éclairage électrique à l'éclairage au gaz dans le théâtre de Lille. La municipalité et la Compagnie continentale sont d'accord sur les bases essentielles du projet, et l'on n'attend que le retour de M. Kolb, président de la Commission des travaux, pour en saisir le Conseil municipal.

Si celui-ci ne fait d'objection, les travaux seraient entrepris à bref délai et la transformation serait complète pour l'ouverture de la prochaine saison théâtrale.

Lyon. — Éclairage. La Compagnie du gaz de Lyon étant une des rares compagnies gazières qui se soient décidées à entreprendre elles-mêmes l'éclairage électrique, on pouvait espérer qu'elle serait secondée dans cette voie. Bien au contraire, le Conseil municipal vient d'inviter l'Administration à refuser à la Compagnie du gaz, toute autorisation d'installer des câbles électriques et à faire diligence pour empêcher que la Compagnie puisse se servir des câbles placés sans autorisation ; invite le Conseil à faire au besoin enlever ces câbles.

Saint-Rémy (Puy-de-Dôme). — Éclairage et traction. A Saint-Remy, on s'occupe activement des études et des formalités nécessaires pour l'instal-

Digitized by Google

lation de l'éclairage électrique et la création des tramways.

Riez (Basses-Alpes). — *Éclairage.* Depuis le 11 avril la population de Riez peut apprécier les avantages de l'éclairage à l'électricité dans les rues jusqu'alors nullement éclairées et dans les établissements publics.

Cet éclairage accordé pendant quelques jours à l'occasion des fêtes de Pâques et à titre provisoire, n'est dû obligatoirement par le concessionnaire que depuis le 1er mai.

Rouen. — La Société normande d'électricité vient de passer à M. Croizier la commande, pour sa station centrale de Rouen, de quatre machines Willans, à triple expansion, de 180 chevaux chacune, destinées à commander directement par accouplement élastique quatre dynamos commutatrices Alioth. Cette installation doit remplacer le panchahuteur de 1 000 chevaux qui n'a pu être mis en service. De son côté, la Société « Traction Electrique » a également commandé à M. Croizier, pour une station de traction par conducteurs voisine de Paris, deux unités de 420 chevaux-vapeur.

L'électricité à Milan. — Cette ville est à la tête de l'Italie pour l'emploi de la lumière électrique, et celle-ci est presque entièrement dans les mains de la Société Édison, qui a une grande usine centrale, dite de Sainte-Radegonde, et une autre plus petite nommée di Vico. Cet éclairage, commencé en 1884 avec 26 lampes à arc et 3 300 à incandescence, est allé progressant rapidement. En 1887, on comptait 152 arcs et 11 010 lampes à incandescence ; en 1891, 21 864 lampes à incandescence et 656 arcs ; en 1893, 33 080 lampes à incandescence et 629 arcs ; l'année dernière, ces chiffres étaient respectivement 38 333 et 624. Si on répartissait uniformément cet accroissement, on arriverait à une moyenne de 3 000 lampes d'augmentation annuelle. L'éclairage à arc s'est développé surtout depuis 1889.

Pendant les trois dernières années, nous apprend le *Cosmos*, le nombre d'ampères-heures a été respectivement de 7 670 528 ; 8 310 592 ; 8 714 099. Les dépenses pour la production d'un ampère-heure en centimes 4,61 ; 4,05 ; 4,39 et le combustible consommé (qui est du Cardiff) en kilogrammes 0,6218 ; 0,5708 ; 0,5944. On voit un relèvement dans les frais de production ; il provient de ce que, pour étendre l'éclairage dans les quartiers qui n'avaient pas le grand réseau, on a remis en mouvement des dynamos anciennes à courants alternés qui éclairaient auparavant des théâtres. Or, ces dynamos vieillies, démodées, ont un rendement assez inférieur à celui des autres, d'où la dépense de combustible qui a demandé un supplément de 3 000 quintaux. De plus, ce petit réseau, ayant peu d'abonnés, est grevé d'une proportion plus considérable de frais généraux, qui, augmentant d'autant le pourcentage total, relèvent légèrement le coût de production. Milan se ressent encore de la crise économique, car, en prenant les moyennes des trois dernières années, on constate qu'une lampe a été allumée par jour : 1 h. 54 en 1892 ; 1 h. 49 l'année suivante, et 1 h. 34 l'année dernière. Ici encore, la consommation se restreint, indice de mauvaises conditions financières qui poussent à l'économie.

Il y aurait encore à parler des tramways électriques qui sont toujours à l'état d'essai, mais il faut en attendre les résultats pour pouvoir les juger. Cependant, on peut prévoir que la ville adoptera ce nouveau système de traction qui a l'avantage de se plier sans effort à toute l'élasticité que demande un pareil trafic. Un seul cas permettra d'en juger. Le 8 septembre, avec treize voitures sur la ligne, la Compagnie a transporté 20 835 personnes, soit 1 620 voyageurs par voiture.

Bureau téléphonique de grande capacité. — *L'Elektrotechnische Zeitschrift* nous apprend qu'on construit actuellement à Bâle un commutateur multiple dont les tables auront une capacité de 10 500 jacks.

Chemin de fer électrique de montagne. — Une Compagnie vient de se former pour la construction d'un tramway électrique à crémaillère pour l'ascension du Sonnenberg, près de Lucerne. La ligne aura 3,8 km. de longueur ; la station terminus sera à l'altitude de 765 mètres. L'énergie électrique sera fournie par la station centrale de Rathhausen et amenée par des conducteurs souterrains.

La vitesse variera de 9 à 12 km. à l'heure.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Digitized by Google

Tome III. Samedi 25 Mai 1895. 2e Année. — N° 21.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

DISTRIBUTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

PAR COURANTS POLYPHASÉS

AUX ATELIERS WEYHER ET RICHEMOND

Il est probablement inutile pour nos lecteurs d'insister ici sur les avantages que peut procurer aux ateliers de quelque étendue et employant de nombreuses machines-outils la substitution aux transmissions mécaniques du transport électrique de la force motrice. Sans parler de l'économie qui résulte de la centralisation de la production de force motrice, on réalise par la suppression des lourdes et encombrantes transmissions mécaniques un gain très important. Dans quelques grands ateliers, on a pu constater des pertes de puissance dans les transmissions allant jusqu'à 80 p. 100, et il n'est pas rare de trouver que ces organes intermédiaires dévorent la moitié de la puissance qu'ils devraient transmettre.

Aussi peut-on citer diverses grandes manufactures qui, au prix de frais d'installation rapidement compensés d'ailleurs par la diminution de la dépense quotidienne, ont fait appel à l'énergie électrique comme moyen de transport et de distribution de la force motrice. L'installation électrique établie récemment aux ateliers de la Société des établissements Weyher et Richemond en offre un nouvel exemple, d'autant plus intéressant, qu'en rompant avec l'opinion reçue et qu'il est permis aujourd'hui de qualifier de préjugé, cette Société a fixé son choix sur le système des courants alternatifs à basse tension, en appliquant les brevets Brown relatifs aux applications des courants biphasés dont elle est concessionnaire.

Quoique la transformation qu'ont subie ces ateliers n'ait pu être opérée d'une manière radicale, il ne s'agit pas ici d'une simple démonstration pratique à petite échelle. L'étendue des bâtiments dont la figure 1 donne le plan nécessitait auparavant l'emploi de trois machines à vapeur, respectivement de 80, de 120 et de 50 chevaux. Ces trois moteurs sont aujourd'hui, à l'exception d'un seul dont la suppression s'est trouvée retardée, remplacés par un groupe dynamogène unique. L'adoption de la distribution électrique de la force motrice a permis à la fois de supprimer plusieurs grosses transmissions reliant différents corps de bâtiments et que la figure 1 indique en pointillé, et de munir de moteurs individuels les machines-outils nouvellement installées.

En décrivant cette installation nous utiliserons, en grande partie, les renseignements donnés à son sujet par M. Boucherot, dans une communication à la Société des Electriciens, et, d'autre part, les observations que nous avons pu faire lors d'une visite à ces ateliers.

Digitized by Google

Le groupe générateur de la nouvelle installation comprend cinq chaudières à foyer amovible et à retour de flamme. Trois de ces chaudières suffisent à l'alimentation de la machine à vapeur: les deux autres alimentent un moteur à vapeur de 150 chevaux pour les essais de dynamos et servent aussi aux essais de machines à vapeur effectués dans une salle voisine.

La machine à vapeur, représentée figure 2, constitue une admirable pièce de mécanique. Elle est du type horizontal, monocylindrique, à quatre distributeurs. Nous trouvons d'abord une disposition intéressante dans le mode de graissage du maneton. L'huile, amenée à la tête de bielle par un conduit radial, s'écoule sur le plateau-manivelle, vers la périphérie duquel elle est lancée par la force centrifuge et se rassemble dans le creux du rebord du plateau,

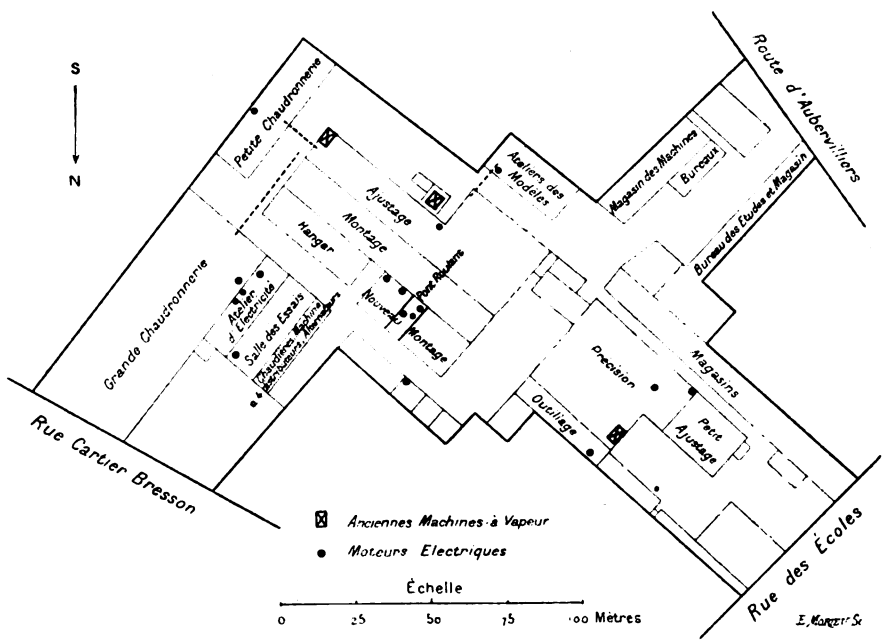


Fig. 1. — Plan des ateliers.

où un tuyau fixe la recueille pour la ramener au point de départ du cycle qu'elle parcourt indéfiniment. Ce graissage continu permet de ne laisser aucun jeu dans la tête de bielle, ce qui évite le léger choc périodique que l'on remarque dans beaucoup de machines. Les paliers moteurs sont également à graissage continu, la circulation de l'huile étant assurée à l'aide d'une pompe centrifuge.

Le régulateur est muni, comme dans la plupart des machines Weyher-Richemond, du compensateur Denis dont on aperçoit, sur la figure, le levier à contrepoids. Cet appareil rendant le régulateur isochrone, assure à la machine une vitesse constante quelle que soit la charge. La longue tige mince qui vient aboutir au-dessus de la prise de vapeur fait partie d'un dispositif de sûreté pour prévenir les emballements de la machine, en cas de ratés dans le déclanchement de la distribution, ou dans le cas de rupture des engrenages de commande du régulateur. Cette tige agit sur un papillon réglant l'admission de vapeur.

Cette machine à vapeur peut développer jusqu'à 400 chevaux, à 60 tours par minute, mais sa consommation économique correspond à 200 chevaux.

Le volant de cette machine actionne une transmission laquelle porte des poulies de commande pour : 1° trois alternateurs biphasés de 130 chevaux chacun ; 2° une petite machine triphasée servant aux essais de moteurs tri-

Digitized by Google

phasés ; 3° une dynamo à courant continu de | 110 volts et 100 ampères pour l'excitation des

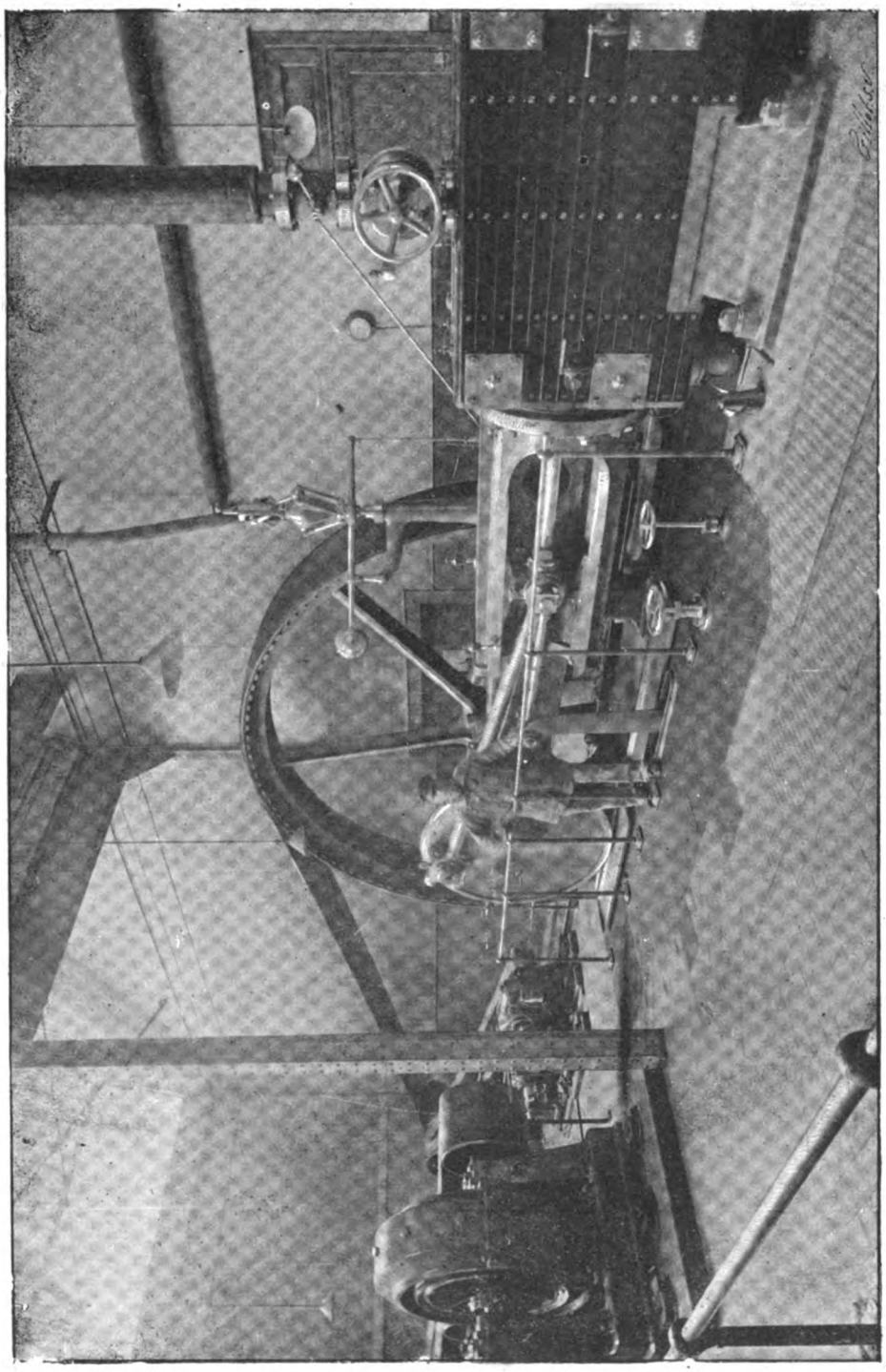


Fig. 2. — Machine à vapeur. Excitation et petit alternateur triphasé.

alternateurs, dont 50 ampères peuvent être distraits pour des essais électriques.

La transmission se prolonge dans la salle des essais de dynamos, et une poulie fixée à son

Digitized by Google

extrémité permet de l'attaquer par la machine | verticale de 150 chevaux au cas, peu probable

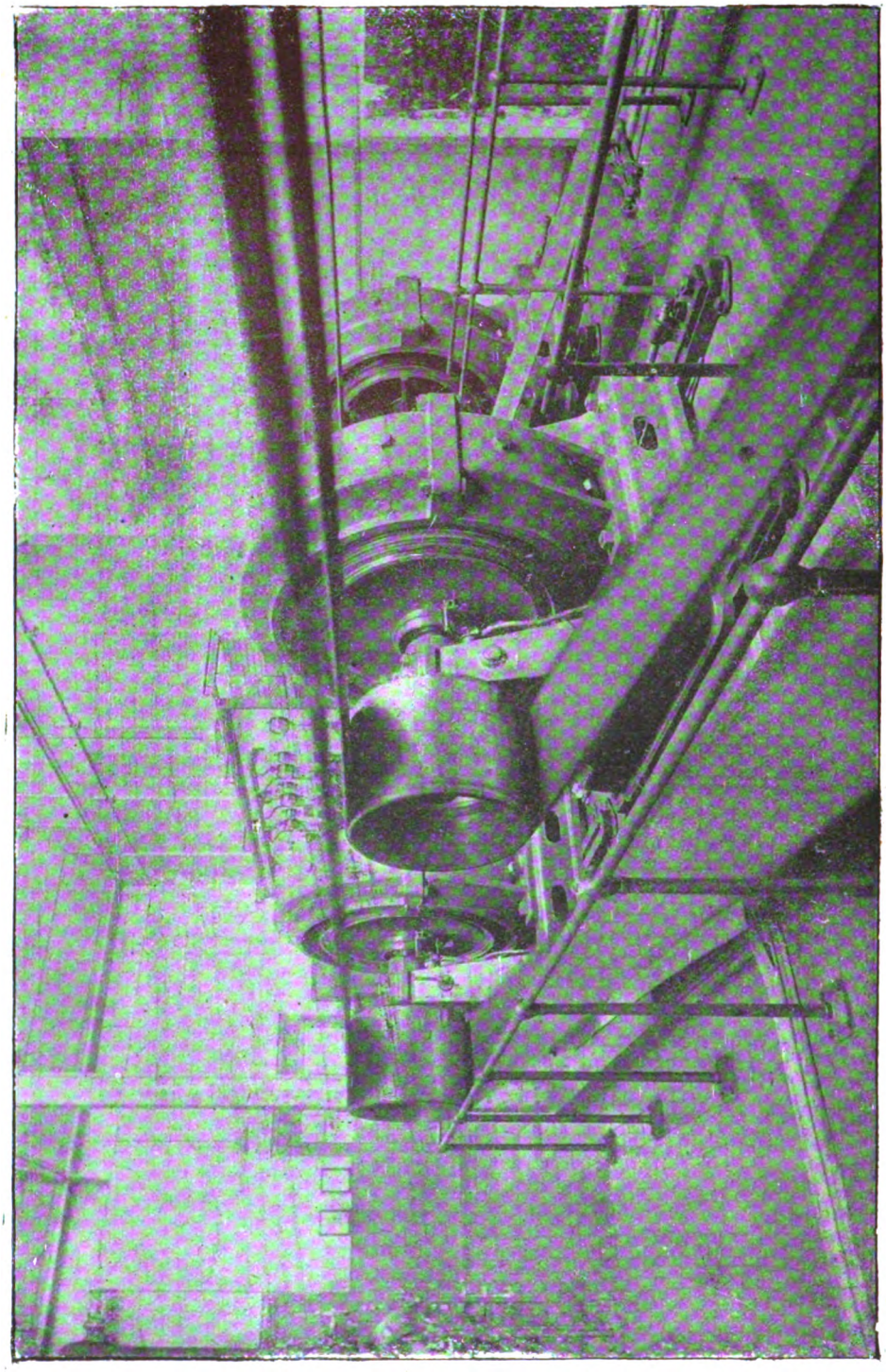


Fig. 3. — Alternateurs biphasés.

d'ailleurs, où la machine horizontale viendrait | à manquer. L'arbre portant la poulie de com-

Digitized by Google

mande d'un des alternateurs ne fait pas corps | avec la transmission principale, mais il peut être

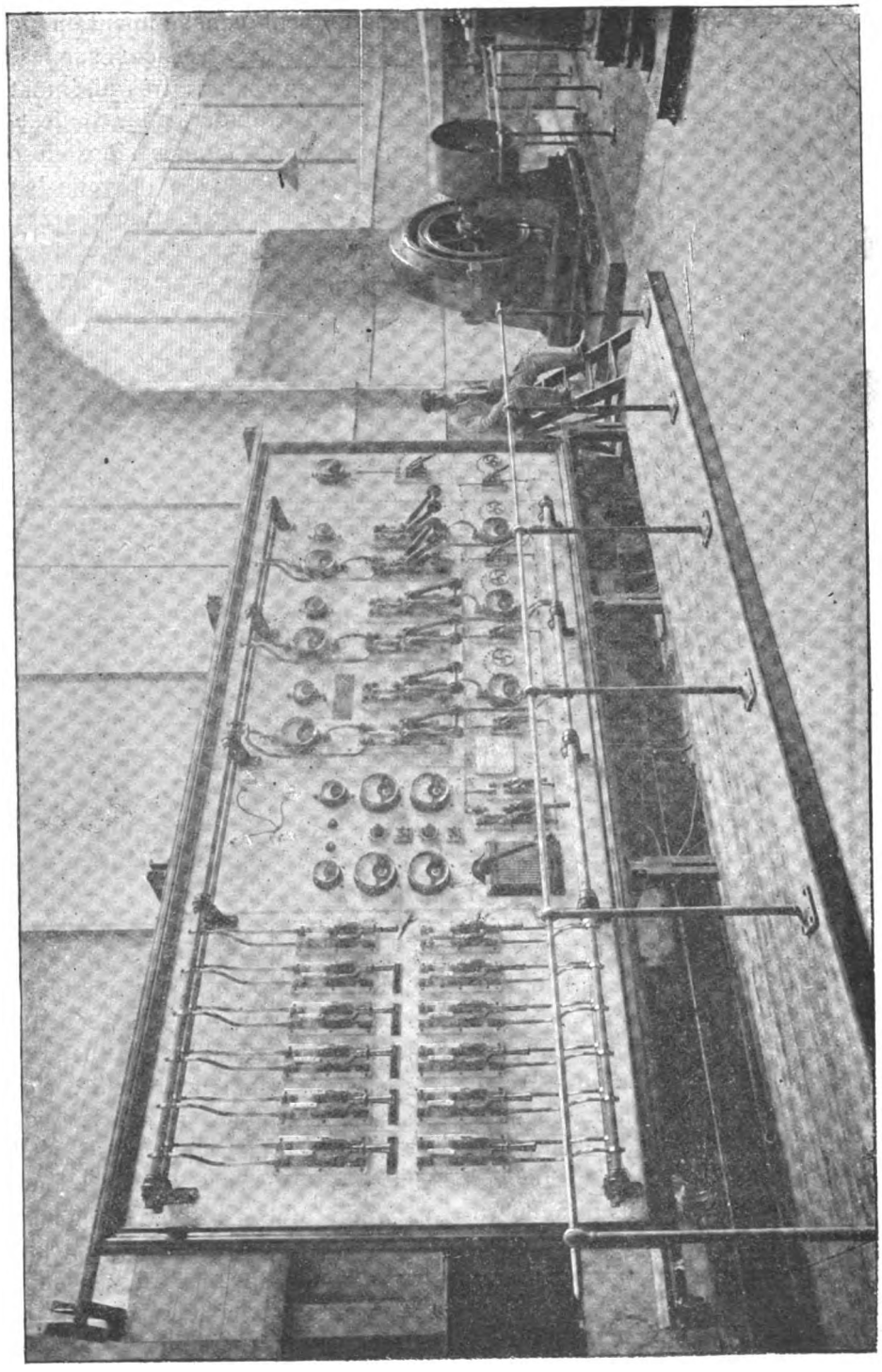


Fig. 4. — Tableau de distribution.

couplé avec celle-ci à l'aide d'un embrayage ma- | gnétique de Bovet, absorbant de 200 à 250 watts.

Digitized by Google

Les alternateurs (fig. 3) sont tous trois de 88 kilowatts, ils donnent par phase 400 ampères sous 110 volts. Leurs pôles inducteurs fixes étant au nombre de 12, leur fréquence est, à 400 tours par minute, de 40 périodes par seconde. L'induit de ces machines est formé d'un anneau de tôle de fer, sur la périphérie duquel sont posées à plat des galettes de fil, les galettes d'une phase étant à cheval sur celles de l'autre. Les circuits aboutissent pour chaque phase à deux bagues sur lesquelles frottent des balais. Le graissage est assuré par des anneaux roulant dans des réservoirs d'huile noyés dans les paliers.

Dans la journée, deux de ces alternateurs fonctionnent constamment en parallèle, et le soir on greffe le troisième sur les deux autres. Le couplage se fait très aisément en prenant, comme d'ordinaire, pour indicateurs de synchronisme des lampes à incandescence placées avec tous les autres appareils de couplage sur le tableau de distribution représenté figure 4.

Sur ce tableau, les circuits correspondant aux deux phases sont nettement séparés, les

Ateliers.	Nombre de moteurs.	Puissances (chevaux) de chaque moteur.	Puissances (chevaux) ensemble.	Rendement industriel.	Puissance absorbée en chevaux.
Essais	1	30	30	0,91	33
Grande chaudronnerie	1	45	45	0,92	49
Petite chaudronnerie	1	13	13	0,89	14,6
Bobinage	3	1,5	4,5	0,74	6,1
Forge	1	1,4	1,4	0,74	1,9
Montage	1	3	3	0,76	4
	1	5	5	0,83	6
Pont roulant	1	8	8	0,86	9,3
	2	1,4	2,8	0,74	3,8
Ancien ajustage	1	45	45	0,92	49
Modèles	1	20	20	0,90	22,2
Outillage	1	30	30	0,91	33
Précision	1	30	30	0,91	33
	1	20	20	0,90	22,2
Totaux			257,7		287,1

deux barres inférieures étant affectées à une phase, et les deux barres supérieures à l'autre. On voit à droite dans le fond les commutateurs des six circuits des machines aboutissant aux barres communes, ainsi que les ampèremètres intercalés dans ces circuits, les ampèremètres d'excitation et les manettes réglant séparément les champs des trois machines. A gauche, se trouve la série des commutateurs des différents circuits d'utilisation de l'usine ; et enfin au milieu du tableau de distribution sont fixés les voltmètres, les appareils de synchronisation, et le rhéostat réglant l'excitation de la dynamo excitatrice.

Sur les lignes de distribution constituées par 8 câbles de 75 mm² de section sont branchés les moteurs dont l'emplacement est indiqué par des points sur le plan figure 1, et les circuits d'éclairage.

Les moteurs, au nombre de 17, de puissance variant depuis 1,4 jusqu'à 45 chevaux, sont répartis comme l'indique le tableau ci-dessus.

Ce tableau indique également les rendements industriels sur lesquels nous aurons encore l'occasion de revenir. Nous donnons dans les figures 5 à 10 des vues d'installation de ces moteurs. Comme on le voit, leur simplicité de construction et de fonctionnement est telle qu'ils peuvent être placés dans les endroits les moins accessibles, contre un mur, au plafond, dans un coin quelconque, sous un escalier même, comme c'est le cas pour le moteur (fig. 9) actionnant un alésoir. L'encombrement très réduit de ces machines est un avantage qu'on ne saurait dédaigner dans les

Digitized by Google

ateliers de construction, où la place est souvent parcimonieusement mesurée.

Quant au maniement de ces moteurs il dépasse certainement en simplicité celui des moteurs à courant continu. En marche, la surveillance est pratiquement nulle ; la mise en marche s'obtient sous charge par la manœuvre d'un démarreur spécial. L'emploi de cet appareil est nécessaire pour les raisons suivantes :

Un moteur à induit en cage d'écureuil fermé sur lui-même est, au repos, l'équivalent d'un transformateur à secondaire en court circuit. Relier un tel moteur directement à une génératrice serait donc, en fait, mettre celle-ci en

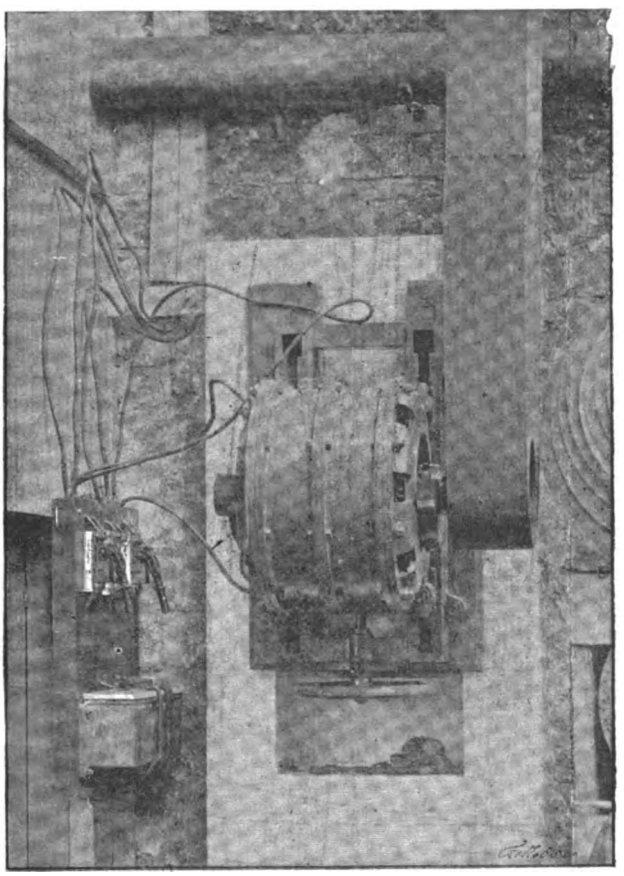


Fig. 5. — Moteur de 30 chevaux (grande chaudronnerie).

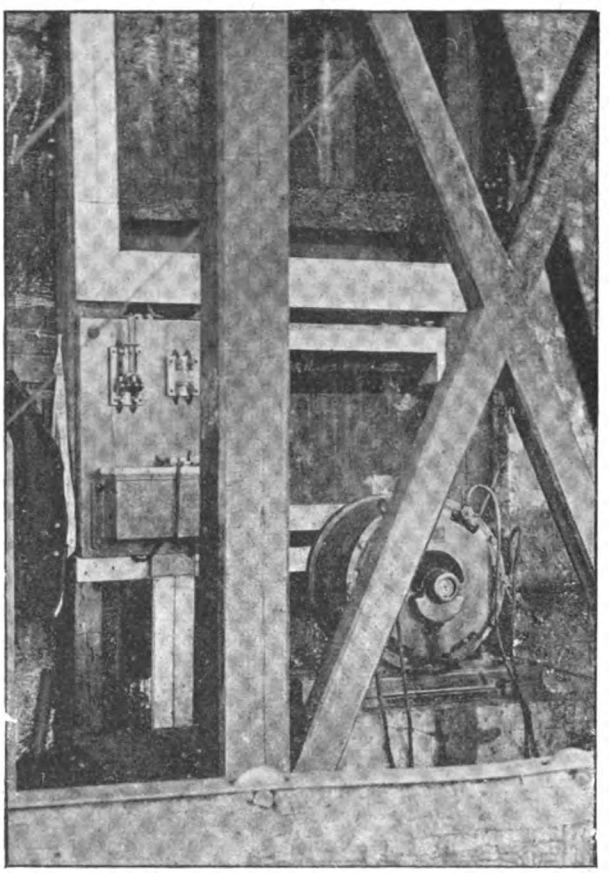


Fig. 6. — Moteur de 15 chevaux (petite chaudronnerie).

court circuit. Pour éviter de brusques accroissements de courant, on pourrait intercaler dans les deux circuits des rhéostats ou des bobines de self-induction ; mais il est d'autre part nécessaire que le couple de démarrage puisse être produit à l'aide de courants intenses mais de faible tension dans chaque circuit. Ce résultat s'obtient en plaçant en dérivation sur chaque circuit d'arrivée une bobine de self-induction et en reliant ensuite le circuit inducteur correspondant du moteur à cheval sur quelques spires de cette bobine. Les circuits inducteurs sont alors traversés par des courants intenses et de faible tension mais qui, grâce aux phénomènes d'induction qui interviennent, n'augmentent pas dans une proportion très considérable l'intensité fournie par l'alternateur. Le couple de démarrage ainsi produit est égal au couple en charge. Dès que la vitesse normale est atteinte, on supprime la self-induction, et l'on place le moteur directement sur les fils d'alimentation.

Digitized by Google

Ces opérations s'effectuent par la manœuvre du commutateur placé sur la boîte renfermant les bobines de self-induction que l'on voit dans les figures 5, 6, 7 et 9 à côté des moteurs.

Le pont roulant (fig. 11) emprunte son courant, au moyen de frotteurs élastiques, à trois fils tendus dans le sens de la translation. Le circuit local du pont alimente directement le moteur de translation fixé latéralement au milieu du pont. Le moteur servant à déplacer le chariot portant le treuil (fig. 12), et celui qui actionne le treuil lui-même doivent, par suite de leur déplacement, avoir des prises de courant mobiles. Celles-ci sont constituées par

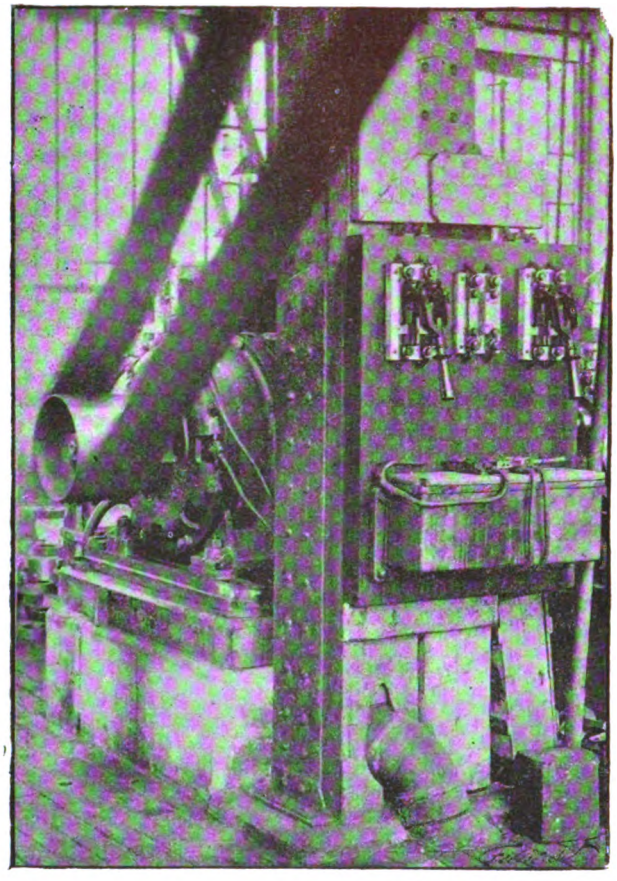


Fig. 7. — Moteur de 30 chevaux (précision).

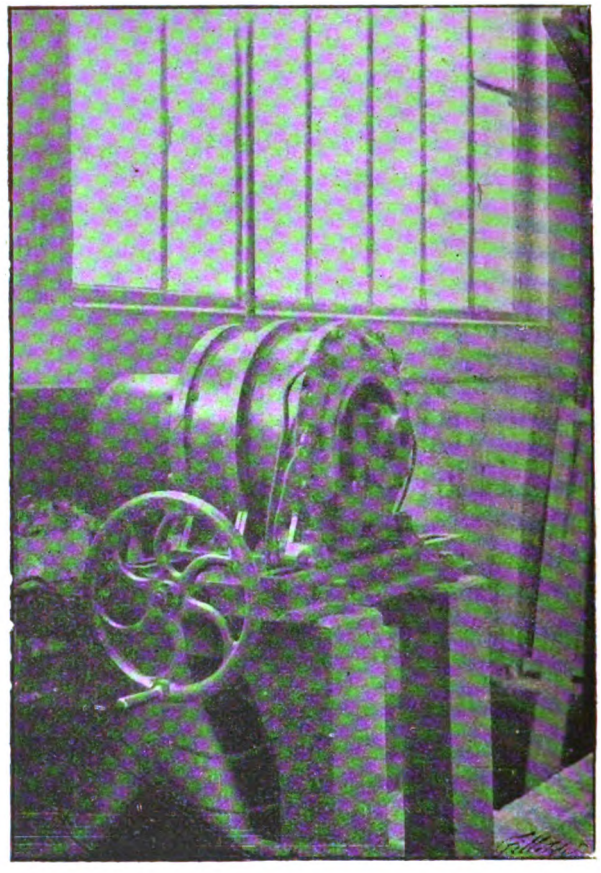


Fig. 8. — Moteur de 20 chevaux (modèles).

cinq frotteurs élastiques glissant le long d'autant de fils tendus dans le sens longitudinal du pont.

L'ensemble des moteurs est desservi dans la journée par les deux génératrices fonctionnant en parallèle. Le soir, le troisième alternateur est à son tour ajouté en dérivation sur les circuits principaux pour fournir l'alimentation des 60 arcs et des 600 lampes à incandescence distribués dans les ateliers et les bureaux.

En insistant sur quelques propriétés intéressantes de ce nouveau matériel, nous devons maintenant indiquer les raisons qui en ont motivé l'adoption par la Société Weyher et Richemond, laquelle aurait pu tout aussi bien, s'il y avait eu avantage, appliquer le matériel à courant continu qu'elle construit.

Voyons d'abord le pourquoi de la préférence accordée aux courants polyphasés sur le courant alternatif simple.

Les machines à courants polyphasés ont une

Digitized by Google

puissance spécifique plus grande et un rendement plus élevé que les machines monophasées. Les actions inductives dans ces deux genres de machines sont, en effet, très différentes. Tandis que l'induit de l'alternateur polyphasé crée un champ tournant avec une vitesse égale et opposée à la sienne propre, et par conséquent fixe par rapport aux inducteurs, il se superpose, dans l'alternateur ordinaire, à ce champ fixe un champ tournant

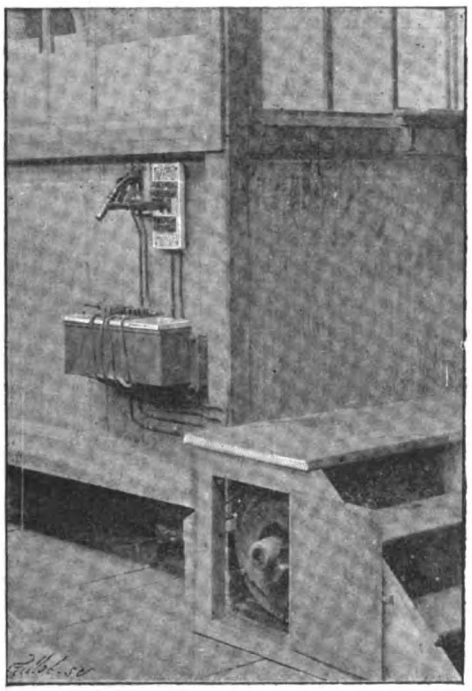


Fig. 9. — Moteur de 3 chevaux (alésoir).

avec une vitesse double de celle de l'induit et produisant dans les masses métalliques de la machine des courants de Foucault, causes de pertes et d'échauffement limitant à la fois la puissance et le rendement.

Les moteurs monophasés ne développant qu'un faible couple initial démarrent beaucoup moins facilement que les moteurs polyphasés. De plus, ces derniers ne présentant pas de couple maximum pour une certaine vitesse, à voltage constant, ne s'arrêtent pas sous l'effet d'une surcharge. Enfin, contrairement à ce qui a lieu pour les moteurs monophasés, on peut faire varier la vitesse des moteurs polyphasés, en introduisant dans le circuit de l'induit des résistances réglables.

Ces avantages sont communs aux différents types de moteurs polyphasés, mais le système biphasé présente sur le système triphasé l'avantage pratique d'une plus grande régularité de voltage dans les deux branches. Il peut exister entre les deux branches biphasées une différence de charge de 50 p. 100 sans que la différence des voltages dépasse 2 à 3 p. 100.

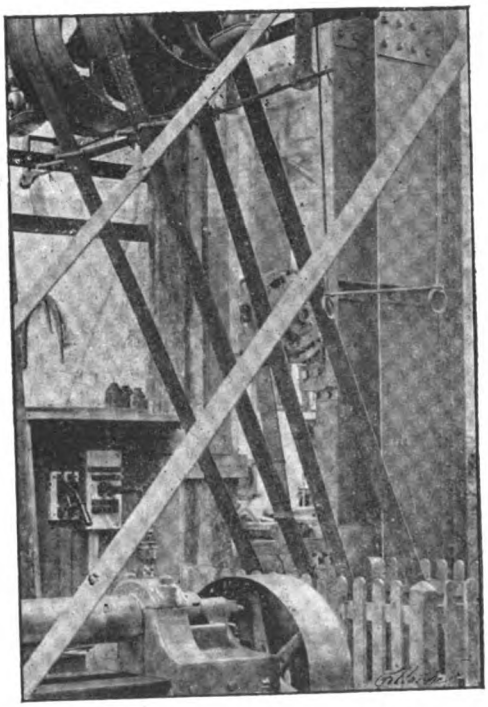


Fig. — Moteur de 5 chevaux (alésoir).

En outre, les enroulements et la construction des machines biphasées sont moins compliqués que ceux des machines triphasées.

Mais pourquoi, étant donné qu'il s'agit d'une distribution à basse tension, a-t-on délaissé le courant continu? La réponse à cette question ressort de la comparaison suivante que nous faisons porter sur les différents éléments de l'installation.

Pour les génératrices un premier point de comparaison est celui du prix. Les alternateurs polyphasés fonctionnent comme des dynamos sans collecteur, mais ils sont plus simples, plus légers et arrivent à égale vitesse et pour

Digitized by Google

la puissance de 88 kilowatts adoptée ici comme unité, à coûter de 10 à 15 p. 100 moins cher. Leur rendement est pareil à celui des dynamos de même puissance. Les mesures faites à ce

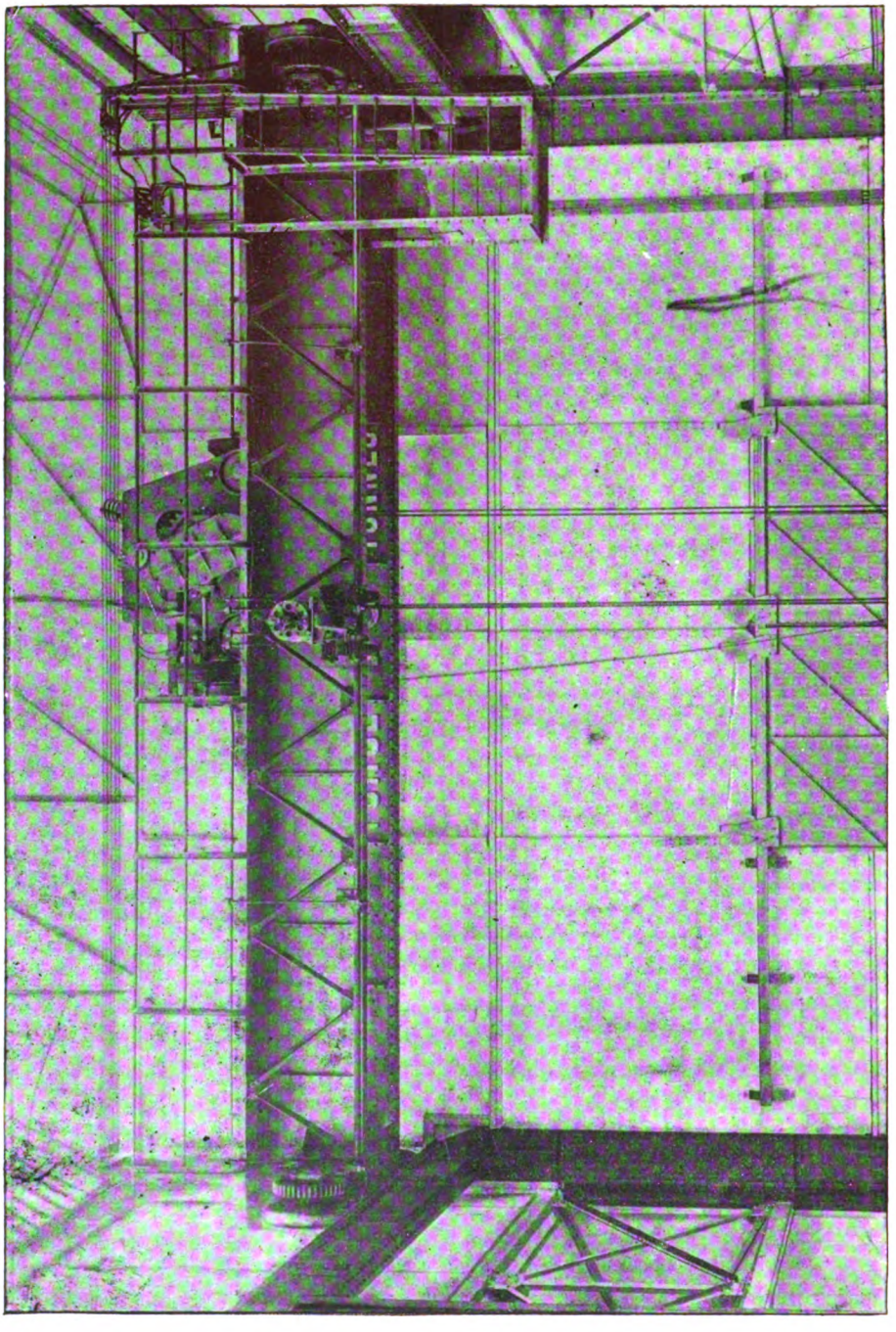


Fig. 11. — Pont roulant électrique à courants alternatifs.

sujet par M. Boucherot en employant la méthode d'essai dont on se sert pour les dynamos, méthode dont l'emploi est légitimé par la fixité du champ, ont donné les résultats indiqués dans le tableau ci-dessous :

Digitized by Google

	A pleine charge.	A demi-charge.	A déci-charge.
Perte dans l'induit.	2 280	570	20
— dans les inducteurs. . . .	1 520	1 460	1 400
Frottements	640	640	640
Résistance de l'air.	1 000	1 000	1 000
Hystérésis.	1 160	1 130	1 100
Courants de Foucault et internes.	1 760	1 700	1 600
Puissance utile.	88 000	44 000	8 800
Puissance totale.	96 360	50 500	14 560
Rendement.	0 913	0 872	0 605

L'alternateur, sans excitation, était mis en mouvement à différentes vitesses, à l'aide d'une petite machine à courant continu dont le rendement était connu. En mesurant la puissance dépensée par cette machine, on obtenait les pertes dues dans l'alternateur aux frottements et à la résistance de l'air. L'alternateur fut ensuite excité avec le courant (17 ampères) produisant le champ dans lequel l'induit donne à vide une force électromotrice de 114 volts. Les puissances trouvées aux différentes vitesses indiquaient les pertes totales non ohmiques. Les deux courbes de la figure 13

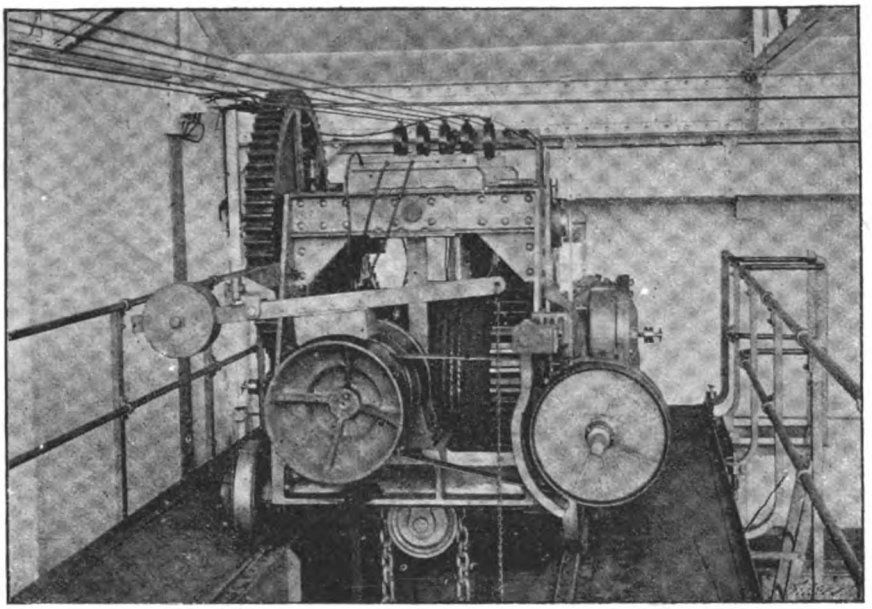


Fig. 12. — Treuil du pont roulant.

donnent les résultats de ces essais ; elles indiquent les couples en fonction de la vitesse angulaire.

La réaction d'induit de ces alternateurs n'est pas supérieure à celle des dynamos ; il suffit de renforcer de 8 à 10 p. 100 l'excitation pour obtenir en charge le même voltage qu'à vide.

Quant à la facilité du couplage en parallèle, si souvent niée, l'expérience quotidienne aux ateliers de Pantin prouve qu'elle est indiscutable, et que l'inconvénient des étincelles aux balais produites par les courants synchronisants dans les dynamos à courant continu couplées en parallèle n'existe pas ici.

Enfin, l'absence du commutateur réduit dans de fortes proportions les dépenses d'entretien et de surveillance.

Si les avantages pratiques des génératrices de courants alternatifs sont aujourd'hui assez généralement reconnus, il n'en est pas de même pour les alternomoteurs qui ont encore de nombreux détracteurs. Les inconvénients qu'on pouvait leur reprocher il y a quelques années ont été, depuis, si parfaitement supprimés, qu'on aurait mauvaise grâce à leur refuser plus longtemps l'accès aux applications de tous les jours.

Si, à puissance égale, ils ne s'écartent pas

Digitized by Google

beaucoup, quant au prix, du moteur à courant continu, ils ont l'avantage de tourner moins vite que ce dernier ; et surtout dans les petites dimensions une comparaison basée sur même puissance à égale vitesse mettrait le moteur à courant continu en état d'infériorité.

Mais le rendement, dont la discussion a occupé à certaines époques de nombreuses colonnes dans nos journaux techniques, quel est-il ? Dans le tableau des groupes de moteurs installés aux ateliers Weyher et Richemond, on trouve cette donnée pour chacun d'eux. Il en résulte que pour l'ensemble des moteurs il n'est pas inférieur à 90 p. 100 ; comme la perte en ligne est de 4 p. 100 et le rendement des génératrices de 91 p. 100, on obtient entre les

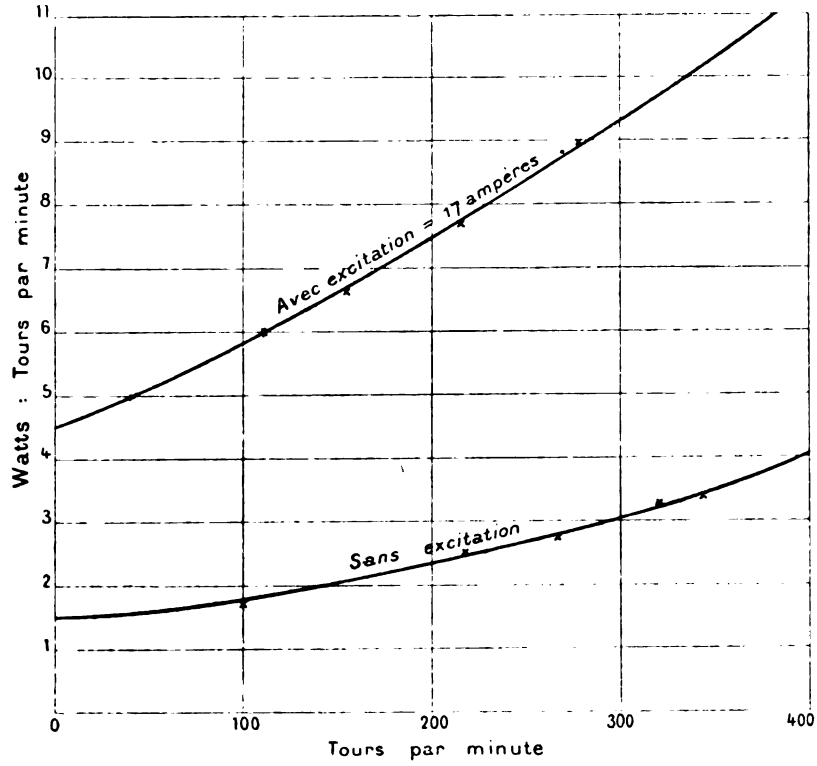


Fig. 13. — Pertes non ohmiques d'un alternateur.

poulies des génératrices et les poulies des moteurs

$$0{,}91 \times 0{,}96 \times 0{,}90 = 0{,}785$$

à pleine charge. Quel meilleur résultat donnerait le courant continu ?

Donc, comme rendement intrinsèque, les deux classes de machines se valent. Mais, industriellement, on doit faire intervenir dans les frais courants, outre ceux afférents à la perte de puissance, les dépenses nécessitées par l'entretien et la surveillance. Or, en dehors des renouvellements de collecteurs et de balais, dans le cas de moteurs à courant continu passant plusieurs fois par jour du tiers de leur charge normale à des surchages considérables, faut-il encore convenir que la surveillance d'une vingtaine de moteurs d'une puissance globale de près de 300 chevaux occuperait au moins un homme. Le salaire de ce surveillant, évalué en chevaux-heures et ajouté aux frais, produirait sur le rendement total une diminution d'au moins 10 p. 100. Grâce au courant alternatif, les ateliers de Pantin s'évitent cette dépense ; car personne n'y est spécialement chargé de surveiller les moteurs, et tout l'entretien se réduit pour ceux qui s'en servent à

Digitized by Google

remplacer de loin en loin l'huile des réservoirs.

Ces avantages étant incontestables, il reste aux critiques la ressource de s'attaquer au mode de fonctionnement même des moteurs. Les mêmes sceptiques qui n'ont jamais vu coupler deux alternateurs en parallèle, déclarent n'avoir pu assister au démarrage sous charge d'un moteur alternatif. Et pourtant, ces moteurs démarrent, et avec le couple qu'il est nécessaire de développer. On doit, il est vrai, prendre, pour les moteurs à induit fermé au moins, les précautions que nous avons déjà indiquées ; mais la manière d'opérer avec les moteurs continus est tout analogue.

Les moteurs qui, à ce point de vue, offrent de grandes facilités, sont ceux dont l'induit, enroulé en triphasé, aboutit à trois bagues qui communiquent par trois balais avec un rhéostat triphasé. La machine représentée figure 14 en est un exemple.

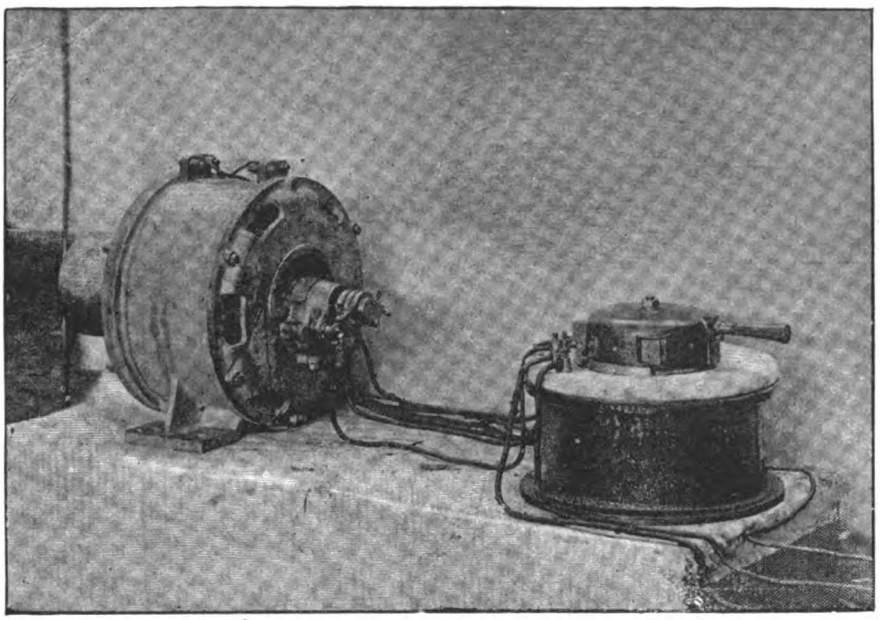


Fig. 14. — Moteur à résistances dans l'induit (8 chevaux).

Au démarrage, on intercale toutes les résistances et l'on obtient ainsi, avec un courant normal, un couple qui peut atteindre facilement une valeur double de celui nécessaire en charge.

Mais l'emploi des résistances dans l'induit permet en outre de faire varier la vitesse, comme on le fait en courant continu avec les moteurs shunt. Toutefois, l'application des moteurs à vitesse variable est assez restreinte. Par contre, on a souvent avantage à se servir d'un moteur dont la vitesse pour une même charge ne soit pas affectée par les variations de voltage. Or, les moteurs biphasés présentent cette propriété, importante au point de vue pratique dans différents cas.

Disons enfin que la mauvaise habitude attribuée aux alternomoteurs de s'arrêter net quand on les surcharge, n'est pas le fait des moteurs biphasés. Comme exemple, on a fait produire jusqu'à 50 chevaux à un moteur construit pour 30.

Quant au nombre de fils qu'il faut établir entre les génératrices et les moteurs, il devient toujours assez grand dès que la section des conducteurs est considérable. On ne se plaindra donc pas que le système biphasé oblige à employer quatre fils puisque, quel que soit le système, on dépasse ce nombre quand la section est importante. Dans l'installation décrite, en particulier, la distribution se fait par huit câbles.

Digitized by Google

Nous ne pouvons terminer ces quelques notes comparatives sans dire un mot d'une particularité de l'éclairage à courants alternatifs. On sait que le réglage des circuits de lampes à arc peut s'effectuer à l'aide de bobines de réaction qui n'absorbent qu'une très faible puissance en comparaison des rhéostats qu'exige le courant continu. L'économie réalisée de ce chef n'est pas négligeable; elle atteint dans l'installation de Pantin de 20 à 25 chevaux pendant toute la durée de l'éclairage. On voit sur la figure 15 un tableau de réglage de circuits à arcs; les self-inductions employées sont formées de deux bobines enroulées sur noyaux de fer parallèles, et l'on fait varier la self-induction en rapprochant ou en éloignant les deux noyaux l'un de l'autre.

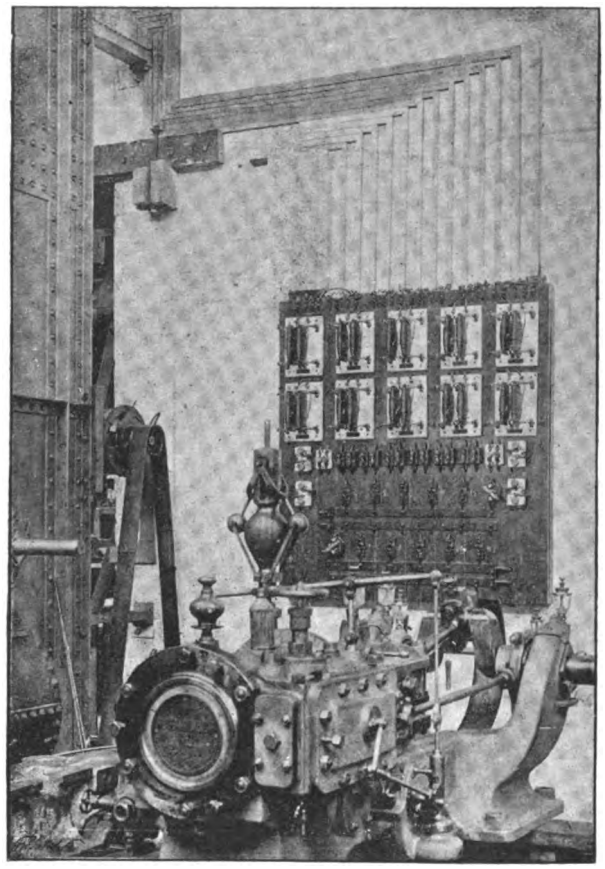


Fig. 15. — Moteur de 3 chevaux et bobines de self-induction pour arcs.

Le pendant de la self-induction est en théorie la capacité; nous espérons bien qu'avant peu l'industrie fera, elle aussi, l'emploi combiné des précieuses propriétés des bobines de self-induction et des condensateurs; un tour à la salle des essais de la Société Weyher et Richemond nous a confirmé dans cette opinion. Le condensateur est encore, de tous les appareils à courants alternatifs, le plus malmené, et nous estimons qu'en s'attachant à le rendre pratique, M. Boucherot rend à l'industrie un appréciable service. L'époque n'est pas loin où nos augures ne juraient que par le courant continu. Or, le courant, créé alternatif dans la machine, persiste à vouloir secouer le joug du commutateur et à redevenir alternatif. Egalement chargé de mauvaises prédictions, le condensateur, manié jusqu'à présent seulement par le théoricien, sera bientôt mis à la portée du praticien.

Les condensateurs que nous avons vus supportent depuis des mois, sans en souffrir le moins du monde, un voltage alternatif de 3000 volts.

Une première application en est faite au système de distribution de M. Boucherot, permettant d'obtenir, par un couplage d'une bobine de self-induction avec un condensateur, un voltage constant et quelconque avec une intensité constante, et réciproquement. Dans l'installation d'essai que nous avons vue, le courant amené à 2 000 volts alimentait un groupe de 30 lampes de 32 bougies, 110 volts; l'efficacité du système est telle que, pendant l'allumage successif de toutes les lampes, les premières allumées ne subissent pas de variation d'éclat appréciable, et le réglage se fait automatiquement sans qu'on ait à toucher ni à la bobine de self-induction, ni au condensateur.

Le condensateur joue aussi un rôle important dans une nouvelle génératrice à courants alternatifs également due à M. Boucherot, et dont nous avons vu fonctionner un modèle

Digitized by Google

d'essai d'une trentaine de chevaux. Cette machine est auto-excitatrice, et cette auto-excitation est produite par l'induit, car la machine ne possède pas d'enroulement inducteur. Outre la suppression de l'excitation séparée on réalise dans ce nouvel alternateur une puissance spécifique et une régularité de voltage très remarquables. La machine peut s'exciter en série, en shunt ou en compound.

C'est tout ce que, pour le moment, nous sommes autorisé à en dire, et l'unique regret que nous avons emporté de notre visite aux ateliers Weyher et Richemond, c'est de ne pas pouvoir donner à nos lecteurs une description complète des nouveautés intéressantes qui s'y préparent.

A. HESS.

SUR

LES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES

A PETITE LONGUEUR D'ONDE

ET SUR LEUR EMPLOI DANS LA PRODUCTION DE PHÉNOMÈNES ANALOGUES AUX PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES DE L'OPTIQUE (1)

CONCLUSION

48. — Abstraction faite des phénomènes produits par les ondes secondaires, décrits dans le chapitre VII, c'est-à-dire des phénomènes produits par les ondes qui émanent des résonateurs excités par un oscillateur, la majeure partie des autres expériences décrites dans ce Mémoire, démontrent que les radiations électriques se comportent exactement comme les radiations lumineuses et calorifiques, en tant qu'elles peuvent produire des phénomènes parfaitement analogues à beaucoup de ceux qu'on étudie en optique. Même, dans quelques cas où il semblait, à première vue, exister une divergence sensible entre les deux ordres de phénomènes, par exemple, dans la réflexion métallique, — les expériences ultérieures ont rétabli un accord plus favorable.

C'est, en quelque sorte, l'optique des ondes longues de quelques centimètres, que nous avons cherché à étudier au cours de ce travail. Cependant, cette optique manque encore de quelques chapitres : ce sont précisément ceux qu'en optique ordinaire, la structure moléculaire des corps contribue à produire. En fait, on n'est pas encore parvenu à obtenir, avec les vibrations électriques, aucun des phénomènes analogues, par exemple, à ceux de la polarisation rotatoire ou de la double réfraction, à moins qu'on ne veuille considérer comme phénomènes de double réfraction ceux qu'on obtient avec le bois (§ 33 et 41).

J'ai mis à profit les qualités particulières de mes appareils pour rechercher à diverses reprises si quelque phénomène de ce genre pouvait être observé ; j'ai toujours obtenu des résultats négatifs. Ainsi, par exemple, j'ai placé, entre l'oscillateur et le résonateur, un diaphragme métallique muni d'une petite ouverture, et j'ai bouché celle-ci avec un disque de quartz taillé perpendiculairement à l'axe, dont l'épaisseur était de 0,8 cm. et le diamètre de 8 cm. ; je n'ai pu obtenir aucun indice certain de rotation des vibrations.

Je n'ai recueilli aussi que des résultats négatifs ou tout au moins incertains, en cherchant à réaliser, avec les ondes électromagnétiques, des phénomènes analogues aux phénomènes électro-optiques ou magnéto-optiques. Ainsi, par exemple, en faisant passer les radiations électriques dans un cylindre de soufre, de 56 cm. de longueur et de 13 cm. de diamètre, entouré d'une bobine formée de 360 tours de fil disposés en 5 couches, je n'ai obtenu aucun indice certain de rotation des vibrations lors même que je faisais passer dans le fil de la bobine un courant de 11 ampères environ.

Il en est de même lorsqu'on cherche à répéter le phénomène de Kerr en faisant réfléchir les ondes produites par les appareils III sur un puissant électro-aimant. C'était pourtant l'expérience qui offrait le plus de chances de succès, puisque, comme je l'ai démontré dans

(1) Voir l'*Eclairage Electrique*, t. II, p. 583, 30 mars 1895.

Digitized by Google

un autre mémoire, le phénomène lui-même augmente d'intensité avec la longueur d'onde des radiations employées, tout au moins si l'on considère les ondes lumineuses.

Du reste, si l'on ne parvenait pas à réaliser, avec les rayons de force électrique, aucun des phénomènes qui, en optique, sont déterminés par la structure moléculaire des corps ou par des modifications temporaires produites dans cette structure, il serait facile d'expliquer ce résultat négatif en tenant compte des divers ordres de grandeur des ondes lumineuses. Celles-ci sont environ cinquante mille fois plus courtes que les ondes électriques les plus petites que j'ai employées ; tandis que les dimensions moléculaires peuvent être comparables à la longueur des ondes lumineuses, elles peuvent donc être en même temps négligeables vis-à-vis de la longueur des ondes électriques.

Il est probable cependant, qu'on pourra tout au moins obtenir avec les ondes électromagnétiques des imitations des phénomènes de l'optique qu'on ne peut fidèlement reproduire.

La marche à suivre serait, selon toute probabilité, de composer des systèmes de conducteurs égaux régulièrement disséminés dans un certain volume et de placer ce système sur le chemin des radiations électriques. Peut-être même, pour imiter certains phénomènes, serait-il nécessaire d'électriser, par influence par exemple, ces conducteurs, ou de leur substituer des aimants régulièrement orientés, etc.

Il ne serait pas impossible que des expériences de ce genre on puisse tirer quelque lumière relativement à la structure intime des corps et aux relations qui existent entre l'éther et la matière pondérable.

NOTE (*voir* § 27).

Les formules relatives à la réflexion et à la réfraction des ondes électromagnétiques à la surface de séparation de deux diélectriques peuvent se déduire très simplement des équation de Hertz.

On prend trois axes rectangulaires disposés de façon que l'axe des z soit normal à la surface de séparation et l'axe des y perpendiculaire au plan d'incidence; soit i l'angle d'incidence, c'est-à-dire l'angle que la normale aux ondes incidentes fait avec l'axe des z.

La force électrique E a une direction constante, c'est-à-dire qu'on suppose l'onde plane incidente polarisée. La force E est fonction du temps t et de la distance p de l'onde à un point fixe, ou, mieux encore, fonction de $t - \left(\frac{p}{V}\right)$, où V est la vitesse de propagation. En effet, elle ne doit pas changer de valeur lorsqu'on augmente en même temps t d'une quantité quelconque τ, et p de la quantité $V\tau$. Si x, y et z sont les coordonnées d'un point de l'onde incidente dans une position donnée, on a évidemment :

$$p = z \cos i - x \sin i + a,$$

a étant une constante qui dépend du choix du point à partir duquel on mesure p.

Nous étudierons séparément les deux cas principaux, c'est-à-dire ceux où la force électrique est perpendiculaire ou parallèle au plan d'incidence.

1° *Force électrique perpendiculaire au plan d'incidence.* — Les composantes X, Y et Z de E sont :

$$X = 0, \quad Y = E, \quad Z = 0.$$

Si l'on porte ces valeurs dans les équations de Hertz (§ 32) (1), en admettant qu'il n'existe pas de champ magnétique indépendant du temps, et en tenant compte de la formule (2)

$$AV\sqrt{\varepsilon}\sqrt{\mu} = 1,$$

on trouve pour les composantes L, M, N de la force magnétique F, les valeurs suivantes :

$$A\mu VL = E \cos i, \quad M = 0$$
$$A\mu VN = E \sin i.$$

(1) *Untersuchungen ueber die Ausbreitung der elektrischen Kraft*, p. 215.

(2) *Loc. cit.*, p. 251.

Digitized by Google

La force magnétique, $F = \frac{E}{A\mu V}$, est donc dans le plan d'incidence. En vertu de la formule $AV\sqrt{\varepsilon}\sqrt{\mu} = 1$, on peut aussi écrire :

$$\sqrt{\mu}\,F = \sqrt{\varepsilon}\,E.$$

Par raison de symétrie, la force électrique E' de l'onde réfléchie et la force électrique E_1 de l'onde réfractée seront, elles aussi perpendiculaires au plan d'incidence. On aura donc, pour les ondes réfléchies et réfractées, des formules semblables à celles que nous venons d'écrire pour l'onde incidente. Nous représenterons par des lettres accentuées les quantités relatives à l'onde réfléchie, sauf, naturellement, les quantités A, ε, μ, V qui restent invariables, et par des lettres munies d'un indice, les quantités relatives à l'onde réfractée, à l'exception de A qui ne change pas ; mais nous écrirons r au lieu de i_1 qui est l'angle de réfraction.

Voici donc les formules.

$$X' = 0, \quad Y' = E', \quad Z' = 0;$$
$$A\mu VL' = E'\cos i', \quad M' = 0, \quad A\mu VN' = E'\sin i';$$
$$F' = \frac{E'}{A\mu V}.$$
$$X_1 = 0, \quad Y_1 = F_1, \quad Z_1 = 0,$$
$$A\mu_1 V_1 L_1 = E_1\cos r, \quad M_1 = 0, \quad A\mu_1 V_1 N_1 = E_1\sin r;$$
$$F_1 = \frac{E_1}{A\mu_1 V_1}.$$

En appliquant maintenant les conditions relatives à la surface de séparation (1), on obtient :

$$E + E' = E_1,$$
$$E\cos i + E'\cos i' = E_1\cos r\,\frac{\mu V}{\mu_1 V_1},$$
$$E\sin i + E'\sin i' = E_1\sin r\,\frac{V}{V_1}.$$

Ces équations doivent être vérifiées à tout instant, pour tous les points de la surface de séparation. Maintenant, puisque les forces électriques E, E', E_1, sont fonction, respectivement, de

$$t - \frac{z\cos i - x\sin i + a}{V},$$
$$t - \frac{z\cos i' - x\sin i' + a'}{V},$$
$$t - \frac{z\cos r - x\sin r + a_1}{V_1},$$

cela n'est possible que si les coefficients de x sont égaux, c'est-à-dire si l'on a

$$\frac{\sin i}{V} = \frac{\sin i'}{V} = \frac{\sin r}{V_1}$$

Ces équations expriment la loi de la réflexion :

$$i' = \pi - i,$$

et celle de la réfraction :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V}{V_1} = \text{constante}.$$

Si, maintenant, on prend

$$E' = \alpha E, \quad E_1 = \beta E,$$

c'est-à-dire si l'on représente par α et β le facteur de réflexion et le facteur de réfraction pour la force électrique, les trois équations précédentes deviennent :

$$1 + \alpha = \beta, \quad (1 - \alpha)\cos i = \beta\cos r\,\frac{\mu V}{\mu_1 V_1},$$
$$(1 + \alpha)\sin i = \beta\sin r\,\frac{V}{V_1}.$$

La première et la dernière de ces équations sont identiques, en vertu de la relation

$$\frac{\sin i}{V} = \frac{\sin r}{V_1}.$$

On a donc

$$\alpha = \frac{\mu_1\sin r\cos i - \mu\sin i\cos r}{\mu_1\sin r\cos i + \mu\sin i\cos r},$$
$$\beta = \frac{2\mu_1\sin r\cos i}{\mu_1\sin r\cos i + \mu\sin i\cos r}.$$

Si, ensuite, on représente par α_m et β_m les facteurs de réflexion et de réfraction pour la force magnétique, c'est-à-dire si l'on pose

$$F' = \alpha_m F, \quad F_1 = \beta_m F,$$

on trouve immédiatement

$$\alpha_m = \alpha, \qquad \beta_m = \beta\,\frac{\mu\sin i}{\mu_1\sin r}.$$

2° *Force électrique dans le plan d'incidence.* — Ici, la force électrique E a pour composantes :

$$X = E\cos i, \quad Y = 0, \quad Z = E\sin i.$$

(1) *Loc. cit.*, p. 252.

Digitized by Google

Dans les équations de Hertz, on a, pour les composantes L, M, et N de la force magnétique :

$$L = 0, \quad A\mu VM = -E, \quad N = 0.$$

On voit donc que

$$F = \frac{E}{A\mu V} \quad \text{et} \quad \sqrt{\mu}\,F = -\sqrt{\varepsilon}\,F.$$

Pour les ondes réfléchies, on obtiendra des formules analogues à celles-ci en accentuant toutes les lettres à l'exception de A, μ, ε, V ; il en sera de même pour les ondes réfractées, dans lequel cas toutes les lettres, sauf A, seront munies d'un indice, et on écrira r au lieu de i_1. Le calcul, très simple, se poursuivra comme dans le cas de la force électrique perpendiculaire au plan d'incidence, et on obtiendra les formules suivantes :

$$\alpha = \alpha_m = \frac{\mu \sin i \cos i - \mu_1 \sin r \cos r}{\mu \sin i \cos i + \mu_1 \sin r \cos r},$$

$$\beta = \frac{2\mu_1 \sin r \cos i}{\mu \sin i \cos i + \mu_1 \sin r \cos r},$$

$$\beta_m = \beta \frac{\mu \sin i}{\mu_1 \sin r}.$$

TABLEAU COMPARATIF DES FORMULES DÉDUITES DES EXPÉRIENCES EXÉCUTÉES SUR LES ONDES ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES ET DES FORMULES CLASSIQUES DE FRESNEL

FORCE ÉLECTRIQUE PERPENDICULAIRE au plan d'incidence		FORCE ÉLECTRIQUE PARALLÈLE au plan d'incidence	
(1)	$\alpha = \alpha_m = \frac{\mu_1 \sin r \cos i - \mu \sin i \cos r}{\mu_1 \sin r \cos i + \mu \sin i \cos r}$	(7)	$\alpha = \alpha_m = \frac{\mu \sin i \cos i - \mu_1 \sin r \cos r}{\mu \sin i \cos i + \mu_1 \sin r \cos r}$
(2)	$= \frac{\varepsilon \sin i \cos i - \varepsilon_1 \sin r \cos r}{\varepsilon \sin i \cos i + \varepsilon_1 \sin r \cos r}.$	(8)	$= \frac{\varepsilon_1 \sin r \cos i - \varepsilon \sin i \cos r}{\varepsilon_1 \sin r \cos i + \varepsilon \sin i \cos r}.$
(3)	$\beta = \frac{2\mu_1 \sin r \cos i}{\mu_1 \sin r \cos i + \mu \sin i \cos r}$	(9)	$\beta = \frac{2\mu_1 \sin r \cos i}{\mu \sin i \cos i + \mu_1 \sin r \cos r}$
(4)	$= \frac{2\varepsilon \sin i \cos i}{\varepsilon \sin i \cos i + \varepsilon_1 \sin r \cos r}.$	(10)	$= \frac{2\varepsilon \sin i \cos i}{\varepsilon_1 \sin r \cos i + \varepsilon \sin i \cos r}.$
(5)	$\beta_m = \frac{2\mu \sin i \cos i}{\mu \sin r \cos i + \mu \sin i \cos r}$	(11)	$\beta_m = \frac{2\mu \sin i \cos i}{\mu \sin i \cos i + \mu_1 \sin r \cos r}$
(6)	$= \frac{2\varepsilon_1 \sin r \cos i}{\varepsilon \sin i \cos i + \varepsilon_1 \sin r \cos r}.$	(12)	$= \frac{2\varepsilon_1 \sin r \cos i}{\varepsilon_1 \sin r \cos i + \varepsilon \sin i \cos r}.$

FORMULES DE FRESNEL

Vibrations perpendiculaires au plan d'incidence . .	$\alpha = \frac{\sin r \cos i - \sin i \cos r}{\sin r \cos i + \sin i \cos r}$	(13)
	$\beta = \frac{2 \sin r \cos i}{\sin r \cos i + \sin i \cos r}.$	(14)
Vibrations parallèles au plan d'incidence.	$\alpha = \frac{\sin r \cos r - \sin i \cos i}{\sin r \cos r + \sin i \cos i}$	(15)
	$\beta = \frac{2 \sin r \cos i}{\sin i \cos i + \sin r \cos r}.$	(16)

Pour faciliter maintenant la comparaison entre les formules trouvées et les formules classiques de Fresnel, nous les réunirons toutes dans un même tableau (ci-dessus) ; nous y écrirons, pour α et β, deux expressions équivalentes entre elles, dont la seconde se déduit de la pre-

Digitized by Google

mière en y remplaçant μ et μ_1 par ε et ε_1, au moyen des formules

$$AV\sqrt{\varepsilon}\sqrt{\mu} = 1, \quad AV_1\sqrt{\varepsilon_1}\sqrt{\mu_1} = 1.$$

La symétrie des formules (1) à (12) est évidente. Si l'on veut écrire les formules (7), (8), (9), (10) (11) et (12), il suffit de prendre suivant l'ordre indiqué, les équations (2), (1), (6), (5), (4) et (3), et de changer respectivement β, β_m, ε, μ, ε_1, μ_1, en β_m, β, μ, ε, μ_1, ε_1.

Puisque, pour la plus grande partie des corps, μ a sensiblement la même valeur, on peut poser $\mu = \mu_1$; les formules (1), (3), et (9) deviennent alors identiques aux formules (13), (14) et (16), tandis que les expressions (7) et (15) restent égales et de signe opposé. Mais cette différence de signe est seulement apparente. En réalité, pour établir ses formules, Fresnel a pris comme sens positif de la vibration réfléchie celui pour lequel sa composante suivant sa surface de séparation est positive. Ici, au contraire, on a pris E' comme positif, lorsque sa composante $X' = E' \cos i' = -E' \cos i$ est négative.

Il en résulte que, pour parvenir aux formules de Fresnel qui ont été, comme on sait, vérifiées par l'expérience, il faut faire correspondre aux vibrations de l'éther non la force magnétique, mais bien précisément la force électrique. Donc, celle-ci est perpendiculaire au plan de polarisation.

Si, au lieu de poser $\mu = \mu_1$, on suppose $\varepsilon = \varepsilon_1$, les formules (2) et (8) deviendront respectivement identiques aux formules (16) et (14). Dans cette hypothèse, ce serait la force magnétique qui se comporterait en tout comme la vibration de Fresnel, et on en conclurait que la force électrique est dans le plan de polarisation. Mais, en réalité l'hypothèse $\varepsilon = \varepsilon_1$ est très éloignée de la vérité.

Plusieurs auteurs ont, à différentes époques, établi les formules pour la réflexion et la réfraction des ondes électromagnétiques, mais ils ne sont pas toujours parvenus à des résultats concordants.

Ainsi, Fitzgerald (1), partant des équations de Maxwell, trouva pour la réflexion et la réfraction des formules correspondantes à celles de Mac-Cullagh.

J.-J. Thomson (2), a obtenu, pour la réflexion, des formules identiques aux formules (1) et (7) du tableau précédent; mais, pour la réfraction, au lieu de trouver les formules (3) et (9), il parvient à des expressions qui ne sont autres que les équations (5) et (11), multipliées par $\frac{\sqrt{\mu_1}}{\sqrt{\mu}}$, et il énonce cette singulière conclusion, que « le rayon réfracté est plus *intense*, dans le rapport $\frac{\cos i}{\cos r}$ » que ce qu'établissent les formules de Fresnel.

Lord Rayleigh (3) a trouvé, pour la réflexion, des formules équivalentes aux formules (1) et (8); il ne s'est pas occupé de la réfraction; il se borne à dire que les formules relatives peuvent se déduire de celles de la réflexion, en faisant usage du principe de la conservation de l'énergie.

Lorenz (4), prenant comme point de départ la théorie de Helmholtz (5) trouva, pour la réflexion les formules de Fresnel (13) et (15), tandis que, pour la réfraction, il parvint à des expressions qui ne sont autres que les équations (14) et (16) de Fresnel, multipliées par $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon}$. A propos de ce désaccord entre les formules de Lorentz et celles de Fresnel, M. E. W. a fait observer dans une note au bas de la page, que le désaccord disparaît lorsque la lumière se réfracte une seconde fois pour retourner dans le milieu primitif.

Tumlirtz (6), trouva des formules semblables aux formules (1), (3), (7) et (9), mais par une méthode qui fut plus tard critiquée par Gold-

(1) Fitzgerald. — *Phil. Mag.* [5], t. VII, p. 215.
(2) J.-J. Thomson. — *Phil. Mag.* [5], t. IX, p. 284.
(3) Rayleigh. — *Phil. Mag.* [5] t. XII, p. 81.
(4) Lorenz. — *Beibl*, 1877, p. 92.
(5) Helmholtz. — *Journal de Crelle*, 1870.
(6) Tumlirtz. — *Die electromagnetische Theorie der Lichts*, Leipzig, 1883.

Digitized by Google

hammer (1), lequel, cependant, parvient à des formules sensiblement identiques. Vaschy (2) a donné des formules semblables.

Enfin, Helmholtz (3) a récemment traité aussi cette question. Puisqu'il considère, non les valeurs de la force électrique, mais celles de la polarisation magnétique, qu'il représente par C_1, C_2, C_3, respectivement pour les ondes incidente, réfléchie et réfractée, il trouve pour la réflexion, c'est-à-dire pour le rapport $\frac{C_2}{C_1}$ les mêmes expressions (1) et (7).

Mais le rapport $\frac{C_2}{C_1}$ correspond à $\frac{\mu F'}{\mu F} = \frac{E'}{E} = \alpha$. Si, ensuite, on calcule le rapport $\frac{C_3}{C_1}$ au moyen des formules établies par Helmholtz, on trouve des expressions qui ne sont autres que les équations (5) et (11) multipliées par $\frac{\mu_1}{\mu}$. Maintenant, avec les notations adoptées, $\frac{C_3}{C_1}$ devient $\frac{\mu_1 F_1}{\mu F}$, ou $\frac{\mu_1 \beta_m}{\mu}$. Donc, les formules de Helmholtz s'accordent parfaitement avec celles que j'ai établies dans la présente Note, mais elles ne conduisent pas aux formules de Fresnel en faisant $\mu = \mu_1$.

Ce n'est que par la considération des facteurs de réflexion et de réfraction relatifs à la force électrique qu'on parvient à ces formules qui, pour $\mu = \mu_1$ se transforment en celles de Fresnel. En calculant, comme l'a fait Helmholtz les facteurs de réflexion et de réfraction relatifs à la polarisation magnétique on obtient des formules différentes, tout au moins pour la réfraction. Il en est de même si l'on calcule les facteurs relativement à la force magnétique ou à la polarisation électrique.

La divergence qui existe entre les formules trouvées par ces divers savants pour la réfraction des ondes électro-magnétiques, provient, dans beaucoup de cas, de ce que l'on a arbitrairement considéré ou la force magnétique, ou la polarisation, etc., comme correspondant à la vibration lumineuse. Ainsi, par exemple, il suffit de calculer le facteur de réfraction relativement à la polarisation électrique pour arriver aux formules de Lorentz.

Les formules trouvées permettent de constater que l'énergie des ondes incidentes se répartit intégralement entre les ondes réfléchies et les ondes réfractées, non seulement en totalité, mais encore si l'on considère des portions correspondantes, ce qui revient à dire telles que sont les projections d'une même aire prise sur la surface de la séparation des deux diélectriques.

L'énergie par unité de volume du diélectrique traversé par les ondes incidentes est $\frac{1}{8\pi}\left(\varepsilon E^2 + \mu F^2\right)$ (1). Cette expression peut se transformer en d'autres équivalentes comme $\frac{1}{4\pi}\varepsilon E^2$, ou $\frac{1}{4\pi}\sqrt{\varepsilon\mu}\,EF$, ou encore $\frac{EF}{4\pi AV}$, en employant les formules.

$$\sqrt{\varepsilon}\,E = \pm\sqrt{\mu}\,F, \qquad AV\sqrt{\varepsilon\mu} = 1.$$

Puisque E et F sont fonction de t, l'énergie varie avec le temps; mais si l'on suppose que ces fonctions sont périodiques, on pourra calculer les valeurs intermédiaires pour chaque période T de l'énergie contenue dans l'unité de volume.

Ceci posé, considérons une onde incidente, une onde réfléchie et une onde réfractée; ces deux dernières seront choisies de façon que les forces électrique et magnétique y aient même phase que sur l'onde incidente. Si E et F sont ces forces sur l'onde considérée, sur l'onde réfléchie, elles seront $E' = \alpha E$, $F' = \alpha_m F$, et sur l'onde réfractée, $E_1 = BE$, $F_1 = B_m E$. On considère, en outre, les trois ondes dans les positions qu'elles doivent occuper après un temps dt; ensuite, on prend une aire quelconque a sur la surface de séparation, et l'on conduit, par tous les points de son contour,

(1) GOLDHAMMER. — *Wied. Ann.* t. XLVII. p. 277 (1892).

(2) VASCHY. — *Traité d'Electricité et de Magnétisme*, t. I. p. 406.

(3) HELMHOLTZ. — *Wied. Ann.* t. XLVIII, p. 402, (1893).

(1) *Loc. cit.*, p. 213.

Digitized by Google

les normales aux trois systèmes d'ondes. Les trois surfaces cylindriques, dont ces normales sont les génératrices, couperont dans trois couches d'épaisseur infinitésimale limitées par les trois ondes considérées, dans deux positions successives, trois éléments correspondants dont les volumes seront respectivement :

$$a \cos iV dt, \quad a \cos iV dt, \quad a \cos rV_1 dt.$$

L'énergie contenue dans ces trois volumes sera :

$$\frac{aEF}{4\pi A} \cos i \, dt, \quad \frac{aEF}{4\pi A} \cos i \alpha\alpha_m dt, \quad \frac{aEF}{4\pi A} \cos r \beta\beta_m dt.$$

La somme des deux derniers est :

$$\frac{aEF}{4\pi A} \cos i \, dt \left(\alpha\alpha_m + \frac{\cos r}{\cos i} \beta\beta_m \right)$$

Or, soit avec les valeurs (1), (3) et (5) soit avec les valeurs (7), (9) et (11), on trouvera que la quantité entre parenthèses est égale à l'unité. Donc, l'énergie contenue dans les trois volumes correspondants sont tels que l'énergie du volume pris sur l'onde incidente est égale à la somme de l'énergie des volumes pris sur les ondes réfléchies et réfractées.

La même relation entre les trois énergies subsiste évidemment si, au lieu de considérer les volumes correspondants d'épaisseur infinitésimale, on considère les volumes dont l'épaisseur, dans le sens de la propagation des ondes, est égal à la longueur d'onde. En effet, les trois énergies deviennent respectivement

$$\frac{a \cos i}{\pi 4A} \int_t^{t+T} EF dt, \quad \frac{a \cos i}{4\pi A} \alpha\alpha_m \int_t^{t+T} EF dt,$$

$$\frac{a \cos r}{4\pi A} \int_t^{t+T} EF dt.$$

et la somme des deux dernières est encore égale à la première. Il n'est donc plus nécessaire, dans ce cas, de supposer d'avance que les phases sont égales sur les trois ondes qui servent de bases aux trois volumes correspondants, puisque, dans les différentes couches infinitésimales dans lesquelles on peut imaginer qu'une couche d'épaisseur égale à la longueur d'onde peut être divisée, on trouve toujours toutes les phases possibles, quelle que soit la phase correspondant aux ondes qui forment les bases de ces couches.

On peut donc affirmer que, si l'on prend trois volumes correspondants d'épaisseur égale à la longueur d'onde ou à un multiple de celle-ci, l'énergie contenue dans le volume pris sur l'onde incidente est égale à la somme des énergies contenues dans ceux qui sont pris sur les ondes réfléchies et réfractées.

Il existe une relation différente entre les énergies moyennes par unité de volume. Représentons par w, w', w_1 ces énergies moyennes relatives respectivement aux ondes incidente, réfléchie et réfractée ; elles ne seront autres que les trois expressions précédentes divisées par les volumes, c'est-à-dire, d'ordinaire, par

$$a \cos i\lambda, \quad a \cos i\lambda, \quad a \cos r\lambda_1 ;$$

λ et λ_1 étant les longueurs d'onde dans les deux diélectriques. Les trois expressions susdites peuvent donc s'écrire ainsi :

$$wa\lambda \cos i, \quad w'a\lambda \cos i, \quad w_1 a\lambda_1 \cos r ;$$

et, puisque la première est égale, comme on l'a vu, à la somme des deux autres :

$$w \sin 2i = w' \sin 2i + w_1 \sin 2r.$$

Telle est donc la relation entre les énergies moyennes par unité de volume.

On peut donner une autre forme aux raisonnements précédents, en faisant intervenir la conception du mouvement de l'énergie électro-magnétique (1).

L'expression

$$\frac{a \cos i}{4\pi A} \int_t^{t+T} EF dt,$$

qui représente l'énergie contenue dans une couche parallèle aux ondes incidentes, de base $\alpha \cos i$ et d'épaisseur égale à la longueur d'onde, représente en même temps l'énergie qui passe par l'aire $\alpha \cos i$, dans le temps T.

(1) *Loc. cit.*, p. 233. — POYNTING, *Phil. Mag.*, n° 175, p. 343.

Digitized by Google

L'énergie moyenne qui passe dans l'unité de temps, sera donc :

$$\frac{a \cos i}{4\pi A T} \int_t^{t+T} EF\,dt,$$

ou $Wa \cos i$, en représentant par W l'énergie qui passe dans l'unité de temps par unité d'aire, c'est-à-dire en posant

$$W = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \frac{EF}{4\pi A}\,dt.$$

De même, en représentant par W' et W_1, les énergies qui passent dans l'unité de temps par unité d'aire, parallèle à l'onde réfléchie ou à l'onde réfractée, et en posant

$$W' = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \frac{E'F'}{4\pi A}\,dt, \quad W_1 = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \frac{E_1F_1}{4\pi A}\,dt,$$

les énergies qui passent dans l'unité de temps par les aires $a \cos i$, $a \cos i'$, parallèles aux ondes réfléchies et réfractées, seront :

$$W'a \cos i, \quad W_1 a \cos r.$$

Or, on a déjà :

$$W' = \alpha\alpha_m W, \quad W_1 = \beta\beta_m W,$$

on reconnaît donc que

$$Wa \cos i = W'a \cos i + W_1 a \cos r,$$

c'est-à-dire que l'énergie que l'onde incidente fait passer dans l'unité de temps par l'aire $a \cos i$ qui lui est parallèle, est égale à la somme des énergies que les ondes réfléchies et réfractées font passer respectivement par les aires $a \cos i$, $a \cos i'$ parallèles à celles-ci. Ou encore : l'énergie que les ondes incidentes font parvenir, pendant l'unité de temps, à une aire quelconque a, prise sur la surface de séparation, est égale à la somme des énergies qui, pour les ondes réfléchie et réfractée, émanent pendant l'unité de temps de cette même aire. On peut donc dire que l'énergie électromagnétique se meut perpendiculairement à la surface d'onde et se réfléchit ou se réfracte suivant les lois de l'optique.

L'énergie qui passe pendant l'unité de temps par l'unité d'aire, mesure l'intensité des effets produits par les ondes électromagnétiques, par exemple l'intensité d'illumination I sur un diaphragme à axe parallèle. Il en résulte que l'intensité d'illumination I des ondes incidentes n'est pas égale à la somme des intensités I' et I, produites par les ondes réfléchies ou par les ondes réfractées. On a

$$I \cos i = I' \cos i + I_1 \cos r.$$

Si, en optique, on dit que l'intensité d'un faisceau de rayons incidents est égale à la somme des intensités des faisceaux réfléchis et réfractés, c'est parce qu'alors, on ne considère pas l'illumination produite sur des aires égales, mais au contraire, la totalité des effets produits par les trois faisceaux, sans tenir compte de cette circonstance que, tandis que la section transversale du faisceau réfléchi est égale à celle du faisceau incident, la section transversale du faisceau réfracté est différente et précisément égale à celle de chacun des autres multipliées par $\frac{\cos i'}{\cos i}$.

A. RIGHI,
Professeur à l'Institut royal de Physique de l'Université de Bologne (Italie).

NOUVEAU MICROPHONE

SYSTÈME DE LALANDE

On sait que les paroles prononcées devant la plaque vibrante d'un microphone lui communiquent une série de vibrations excessivement rapprochées correspondant à celles de la parole ; ces vibrations sont transmises aux contacts microphoniques portés par cette membrane. Il en résulte entre ces contacts des variations de pression produisant des variations similaires dans l'intensité du courant primaire qui les traverse.

Mais, si l'on isole par la pensée une des variations communiquées à la membrane et aux contacts microphoniques, on conçoit que cette membrane et ces contacts, en vertu de leur élasticité et de leur mobilité, fourniront, non pas une oscillation unique, mais toute une

Digitized by Google

série d'oscillations d'amplitude décroissante. Ces oscillations supplémentaires ou parasites se composeront avec les oscillations normales suivantes ; il en résultera entre les contacts microphoniques des variations de pression ne correspondant pas exactement aux vibrations de la parole, d'où une altération plus ou moins sensible de la parole transmise. L'influence de ces vibrations parasites doit être très grande, car les pièces en contact se trouvent dans une position d'équilibre presque instable, n'étant maintenues pressées les unes contre les autres que par l'action d'un faible ressort

Fig. 1. — Microphone de Lalande. Vue en perspective.

ou d'une force telle que la pesanteur, le magnétisme, etc.

M. de Lalande a eu l'idée d'éviter cet inconvénient en appliquant aux charbons des microphones le système très efficace, usité généralement dans les instruments de physique pour amortir les oscillations. Ce système consiste à faire plonger dans un liquide les pièces oscillantes ou vibrantes ou des pièces qui leur sont reliées d'une manière fixe. Dans ce but, les charbons du nouveau microphone, dont la figure 1 représente une vue en perspective et les figures 2 et 3 des coupes à plus grande échelle, sont munis de pièces d'ébonite plongeant dans un bain de mercure en contact également avec la plaque vibrante : le mercure amortit les vibrations parasites de la membrane et des charbons. La poussée de ce liquide sur les pièces d'ébonite sert en même temps à régler à volonté la pression entre les contacts, de façon à obtenir la plus grande sensibilité en même temps qu'une netteté parfaite.

L'appareil se compose essentiellement d'une plaque vibrante circulaire en sapin AB portant un certain nombre de charbons de section carrée C,C,C,C, mobiles autour d'une tige de nickel DE fixée à un support en fer FC. Les extrémités supérieures H,H,H,H, de ces charbons entrent librement dans des trous percés dans des blocs de charbon K,L fixés égale-

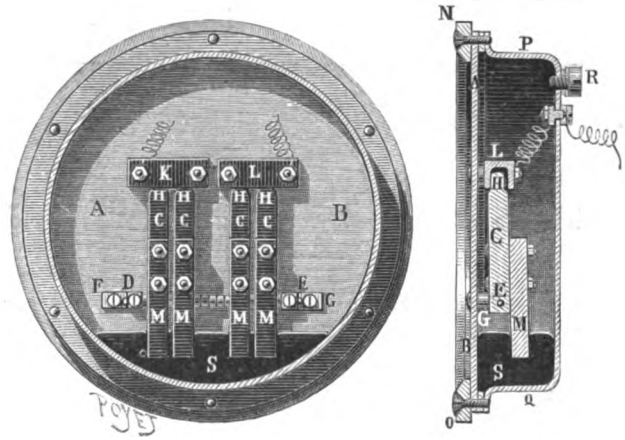


Fig. 2 et 3. — Détails du microphone de Lalande.

ment sur la membrane. Les charbons portent les pièces d'ébonite M,M,M,M, plongeant dans du mercure. La plaque vibrante est maintenue par un anneau métallique NO et des vis sur le devant d'une boîte en tôle de fer emboutie PQ qu'elle ferme hermétiquement. Pour régler l'appareil, on verse peu à peu par l'ouverture R fermée normalement par une vis, une certaine quantité de mercure S à l'intérieur de cette boîte ; ce liquide, soulevant l'extrémité des pièces d'ébonite M,M..... fait pivoter les charbons autour de l'axe DE et appuyer leur partie supérieure H contre la partie antérieure des trous où elle est logée. On arrête l'addition de mercure lorsque la parole transmise possède toutes ses qualités. Comme on le voit, le courant primaire parcourt les charbons réunis par deux en série; les fils conducteurs traversent la boîte de

Digitized by Google

fer à travers des isolateurs d'ébonite T,T.

Le reste du dispositif du microphone comprenant la bobine d'induction, le crochet interrupteur, etc., est analogue à celui d'un microphone ordinaire.

Ce nouveau microphone, construit par la maison L. Digeon et Cie, est admis par l'administration des Postes et Télégraphes sur les réseaux téléphoniques de l'État. Il possède une puissance et une netteté remarquables et ne donne pas de résonances sur les circuits les plus étendus ; il n'est pas exposé à se dérégler.

J. REYVAL.

INFLUENCE DES ONDES ÉLECTRIQUES SUR LA RÉSISTANCE DES CONDUCTEURS

Dans le travail qui vient d'être présenté par M. Aschkinass à la Société de physique de Berlin et dont un compte rendu a paru dans l'*Éclairage Électrique* du 11 mai dernier, les phénomènes décrits sont pour la plupart renfermés dans un Mémoire que j'ai publié en mai et juin 1891 dans la *Lumière Électrique* avec le titre : « Variations de conductibilité sous diverses influences électriques ».

Pour rendre les expériences plus saisissantes, j'ai insisté spécialement sur les limailles métalliques qui offrent des diminutions de résistance extraordinairement étendues, mais je cite aussi parmi les substances sur lesquelles j'ai observé des *diminutions de résistance* des plaques de verre argenté, des feuilles d'or, d'argent, d'aluminium appliquées sur verre (*Lumière Électrique*, tome XL, page 307, 2e colonne, et page 507, 1re colonne), c'est-à-dire des substances entièrement semblables à la lame mince d'étain sur laquelle M. Aschkinass a opéré.

Le retour à la résistance primitive par le choc et par une élévation de température est développé pages 507, 508 et 509.

Quelques-unes des expériences que M. Aschkinass vient de réaliser dans une enceinte métallique sont décrites dans ce même Mémoire avec figure à l'appui, page 509. J'y ai insisté aussi sur ce point que les fils de jonction transmettent l'action des étincelles quand ils sortent de la cage métallique.

Enfin, page 511, 2e colonne, j'ai signalé l'accroissement de résistance présenté par certains verres platinés.

A l'occasion de cette réclamation de priorité, je ferai remarquer que ce sont les lames métalliques minces qui m'ont offert les premières des diminutions de résistance au pont de Wheatstone par les étincelles électriques, j'ai ensuite employé des lames de verre et d'ébonite recouvertes de métaux porphyrisés, ce qui m'a conduit aux limailles métalliques, puis aux mélanges solides de limailles et d'isolants.

EDOUARD BRANLY.

LE SYSTÈME HYDRO-ÉLECTROTHERMIQUE "HOHO ET LAGRANGE" POUR LES TRAVAUX MÉTALLURGIQUES (1)

APPLICATIONS AUX BESOINS INDUSTRIELS

Pour utiliser, le mieux possible, une installation et lui faire produire le meilleur résultat, il est évident qu'un travail continu doit lui être demandé, et l'expérience démontre que cela peut être obtenu aisément dans la plupart des usines où le système peut être employé, en raison des applications variées dont il est susceptible.

Dans le système Thomson, auquel celui-ci peut être comparé, il n'en est pas ainsi, car à cause des dispositifs spéciaux de la machine employée et de son mode de travail, celle-ci ne peut être employée qu'à des travaux d'une *nature très limitée*. Aussi ce système ne peut être rémunérateur que pour des travaux spé-

(1) Voir l'*Eclairage Électrique* du 27 avril, p. 165.

Digitized by Google

ciaux, individuels, effectués sur une très grande échelle.

De même, les branches de travail auxquelles est applicable le système Bénardos, sont très limitées, et à moins qu'on n'obtienne une quantité suffisante de ce travail spécial, l'installation ne peut produire un résultat rémunérateur.

Le système hydro-électrothermique est, par contre, applicable à un si grand nombre de branches, et il requiert une dépense si minime pour les modifications à faire à l'installation spéciale pour tout usage particulier, quel qu'il soit, dès que la force génératrice existe, qu'un avenir industriel très large lui est ouvert ; *l'installation peut être tenue en plein travail par le grand nombre des travaux auxquels s'applique le système dans presque toutes les grandes usines et manufactures.*

Une énumération de quelques-uns de ces travaux le montrera très clairement.

Ce sont les suivants :

1° Chauffage de pièces de métal pour soudage, estampage, forgeage, etc.

2° Trempe, durcissement, etc. d'outils, et d'autres objets en acier.

3° Décapage des surfaces métalliques.

4° Brasage, soudage, etc.

5° Fusion électro-chimique et réduction.

SOUDAGE.

Une installation d'une puissance de 45 kw., laquelle peut être prise comme type, serait suffisante pour chauffer des pièces d'environ 25 centimètres de diamètre en 40 secondes, prêtes à être martelées.

Deux équipes de forgerons pourraient être occupées à ce travail avec un bain.

Dans ces circonstances, malgré le coût de l'énergie consommée, les soudures ainsi faites contrastent favorablement, sous le rapport du coût, avec celles actuellement exécutées au feu de forge ordinaire.

Dans un grand nombre de cas, on peut se contenter de l'emploi d'un soudeur en bout, lequel permet de se passer d'un forgeron et de son aide et, par suite, d'obtenir une économie notable.

La disposition de ce soudeur en bout est très simple et il peut être facilement associé au bain.

Un point très important pour le soudage réside dans le fait que la chauffe du métal se produit dans une *atmosphère de gaz hydrogène, où il n'y a ni impuretés ni scories*, et que le métal sort du bain parfaitement propre et convenable pour obtenir une soudure parfaite.

Il existe encore un autre fait fort important. Il est très souvent nécessaire de souder une petite pièce sur une autre beaucoup plus grande, et cette dernière doit être chauffée jusqu'à la température de soudure sur une grande partie de sa masse, afin de pouvoir effectuer la soudure, ce qui coûte « beaucoup de combustible et de temps ». Par le procédé hydro-électrothermique, ainsi que cela a déjà été expliqué, *la partie* de la plus grande pièce où l'on doit faire la soudure *peut être chauffée* seule, ce qui permet de souder une tige au centre d'une plaque ou une barre au milieu d'un disque, comme dans le cas d'une plaque de tampon ; cette soudure est promptement et facilement exécutée.

Le travail fini peut être également chauffé sur un point déterminé, *sans nul inconvénient.*

Cela s'effectue par « l'isolation », c'est-à-dire par l'interposition d'une matière non conductrice, telle que la porcelaine, le caoutchouc, etc., de sorte que l'action de la chauffe est absolument *localisée* à l'endroit voulu. Par ce moyen une action locale intense peut être obtenue en tout point voulu d'un corps quelconque.

Cet isolant permet aussi l'emploi d'une force relativement petite pour la chauffe d'une surface relativement grande. Il suffit de faire mouvoir la pièce derrière l'isolant ou *vice versa* ; on expose ainsi successivement tous les points d'une grande surface à l'influence de l'énergie électrique. La chauffe sera

Digitized by Google

nécessairement moins rapide, mais le résultat final est analogue à ce qu'il serait si une installation plus grande et plus coûteuse était employée.

Ceux qui sont au courant des questions pratiques du travail métallurgique, conçoivent immédiatement les nombreuses et précieuses applications dont ce système est susceptible dans cette voie.

En raison de la grande propreté des surfaces chauffées et de la possibilité de régler minutieusement l'effet de chauffe, produit par l'augmentation ou la diminution de la force électromotrice du circuit, on peut obtenir des soudures très parfaites, de fer sur acier, d'acier doux sur acier d'outils, etc., de sorte que *tous les outils d'atelier peuvent être forgés et réparés dans les meilleures conditions.*

Pour cela les bains employés pour la chauffe du fer et celle de l'acier doivent légèrement différer et être séparés.

Forgeage. — Dans beaucoup de cas de forgeage par les méthodes actuelles, il est nécessaire de chauffer la totalité ou une grande partie d'une barre ou pièce quelconque pour pouvoir la travailler à un endroit déterminé.

Par l'emploi de ce procédé, la partie qui doit être chauffée peut être soumise seule à l'action calorifique, par l'emploi d'un isolant ; ainsi on peut chauffer la partie exacte d'une barre où on veut faire courber celle-ci pour faire un coude, et ainsi de suite. Il convient de rappeler ici que le *travail fini ne sera pas endommagé par l'opération.*

Tréfilage. — Le recuit ou enlèvement de la trempe du fil, lorsqu'il a été tréfilé à froid, entre autres, est très parfaitement obtenu, d'une façon continue et rapide, par le procédé hydro-électrothermique.

Une certaine longueur du fil traité est sous l'action d'un bain de chauffe, d'une solution ; pendant son passage à travers cette solution, ce fil est chauffé à la température exacte requise ; il passe ensuite par un laveur, puis dans un réservoir de recuite adjacent, et, enfin, à travers un autre laveur.

La rapidité avec laquelle le fil traverse le bain « chauffant » combinée avec son diamètre, la longueur sur laquelle il est exposé dans le bain et la force électromotrice employée — qui est d'un contrôle facile et absolu — permet d'arriver aux résultats les plus parfaits.

Le réservoir de recuite peut être rempli au moyen d'huile minérale ou grasse, ou au moyen d'une solution aqueuse selon le résultat que l'on se propose d'obtenir.

Fabrication de chaînes, etc. — Des chaînes d'acier peuvent être forgées aussi parfaitement que celle de fer par ce procédé, un électrolyte légèrement différent étant employé dans le bain.

Estampage. — Le soudage de petites pièces sous l'action du marteau-pilon, est une industrie à laquelle convient le procédé qui nous occupe. Non seulement l'opération est très rapide, mais encore la quantité de métal employée peut être beaucoup réduite, et les pièces finies sortent *parfaitement soudées, aiguës de bord et propres à la surface.*

Des expériences pratiques dans ce sens, pour la fabrication des armes à feu, ont indiqué de très grands avantages, spécialement au point de vue de *l'économie de la matière première et de la réduction du travail de « finissage ».*

EMPLOI POUR LA TREMPE ET LE DURCISSEMENT DE L'ACIER

Le procédé hydro-électrothermique s'adapte admirablement à la trempe, avec la plus grande rapidité et la plus absolue certitude.

L'électrolyte employé dans le bain est modifié pour la « trempe » et une solution de carbonate de potasse dans de la glycérine est souvent substituée à l'eau. L'effet calorifique est alors moins rapide, plus délicat et mieux sous contrôle, que lorsque des solutions aqueuses sont employées.

De petites pièces de forme irrégulière ou de surface irrégulière, tels que des limes et autres

Digitized by Google

outils, peuvent être parfaitement manipulées sans déformation, torsion ou fêlure.

La pièce, après avoir été portée à la température voulue, reste, après que le courant a été interrompu, dans le bain où elle se refroidit graduellement, de sorte que sa trempe est identique partout et que sa disposition moléculaire n'est pas modifiée.

La rapidité, aussi bien que la certitude avec laquelle des pièces similaires peuvent être identiquement et presque automatiquement traitées, caractérisent ce procédé.

Durcissement. — La possibilité du durcissement superficiel de pièces d'acier doux, de dimensions ou de formes quelconques, à toute profondeur voulue, depuis une écorce superficielle jusqu'à une profondeur considérable, sans modifier les conditions du noyau, combinée avec l'emploi de « l'isolant » au moyen duquel une partie locale seulement de la pièce est traitée, constitue le caractère le plus important du système.

Les nombreuses applications du durcissement s'imaginent d'elles-mêmes; à titre d'exemple, signalons la trempe superficielle des fusées des essieux de chemin de fer et d'autres axes; sans endommager la nature de l'acier composant l'axe, celui-ci est recouvert d'une écorce trempée de un demi-millimètre d'épaisseur ou plus, suivant qu'on le désire, et cela seulement et exactement sur la longueur de la fusée. Citons encore le durcissement local de surfaces de revêtement, après « finissage », quelle que soit leur forme, sans nuire aux arêtes ou altérer la trempe du noyau, telles que les gardes (ou boîtes) finies de serrures, les surfaces de revêtement d'un très grand nombre d'espèces d'outils comme les pioches, les haches, les marteaux, les coins, etc.

Le bain ordinairement employé pour ces travaux est une solution de carbonate de potasse dans de l'eau, et la force électromotrice employée est relativement grande, de sorte que l'opération peut s'exécuter très rapidement.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, il se produit dans le bain, dans certaines circonstances, une action très remarquable qui est aussi d'une grande utilité pratique. Une pièce de métal ou de matière conductrice peut être chauffée dans le bain sans que l'une ou l'autre électrode soit en contact réel avec elle. Pour cela, on suspend la pièce à traiter dans l'électrolyte, et le pôle négatif est approché tout près d'elle; un arc ou quelque chose de ce genre saute du pôle à la pièce à traiter, qui commence par s'entourer d'une enveloppe gazeuse lumineuse, et est rapidement portée à la température requise sur la totalité de sa surface. Cela est d'une valeur spéciale dans la fabrication de petits objets en métal qui, après avoir été chauffés, doivent être forgés, laminés ou estampés, et, dans le cas où il faut une « trempe uniforme ».

Toute partie de la pièce ainsi suspendue peut être isolée ou protégée comme dans les cas précédents.

DÉCAPAGE DE SURFACES MÉTALLIQUES

L'action électro-chimique qui se produit dans le bain à l'électrode négative est de nature réductrice, et tous les oxydes ou autres impuretés et même les parcelles (paillettes) de métal elles-mêmes, sont immédiatement enlevées de l'électrode, dès son immersion dans le bain, par l'action du courant. Par ce moyen, on peut décaper des plaques ou pièces de métal.

Parmi les applications industrielles qui se suggèrent d'elles-mêmes, il faut citer le décrassage des plaques de fer après avoir été plongées dans le bain d'étain. Avec un peu d'adresse, on peut effectuer un décapage très parfait de la surface des plaques, avec une économie correspondante dans l'étain employé et une diminution dans le déchet des plaques.

Il n'a pas encore été procédé à des expériences très décisives dans cette direction, et il est probable qu'une légère modification dans l'électrolyte et le bain serait nécessaire.

En prenant les seuls chiffres que j'ai, je trouve que le nombre d'ampères et par conséquent l'énergie requise serait assez grande

Digitized by Google

pour faire cette opération, mais la rapidité de l'opération et la certitude apparente de l'économie très appréciable sur la quantité d'étain employée doivent engager à l'essayer.

Le nettoyage de la surface des pièces de métal après leur frappe en monnaies est un autre champ d'application.

Des objets à laminer électriquement seraient aussi avantageusement traités par le procédé après leur immersion dans leurs bains spéciaux.

BRASAGE, SOUDURE, ETC.

En raison de la délicatesse de l'effet calorifique et de la possibilité de localiser momentanément une chaleur très intense par « isolation », ainsi que cela a été expliqué, le soudage des métaux au moyen de cuivre ou autre métal soudant peut être l'objet d'une application importante, et dans beaucoup de cas, par exemple dans le travail des articles pour bicyclettes, le procédé électro-hydrothermique sera utilisé de préférence à ceux qui prédominent en ce moment, à cause de sa rapidité, de sa propreté et du contrôle qu'on peut exercer sur l'opération pendant toute sa durée. Pour le brasage, etc., le bain de glycérine peut être employé et le métal de l'électrode positive doit changer selon le métal soudant que l'on utilise.

On n'a pas encore fait de travail suffisamment expérimental dans ce sens, mais ce qu'on a essayé suffit pour démontrer la parfaite possibilité de l'application du procédé à tous les besoins de cette branche.

L'atmosphère d'hydrogène réductrice joue un rôle important dans de telles opérations, on le comprendra aisément, et la question de la fusion, etc., est par conséquent beaucoup simplifiée.

OPÉRATIONS ÉLECTROCHIMIQUES MÉTALLURGIQUES

Nous avons insisté exclusivement sur l'application du procédé au travail du fer et de l'acier seulement ; cela provient du fait qu'un champ immense est immédiatement ouvert à ce travail.

Mais il vient également à l'esprit que *tout métal peut être travaillé par ce procédé*, et traité, fondu ou chauffé seulement, comme on le désire. Nécessairement le caractère électrolytique et même la composition du bain, etc., demanderont, dans chaque cas, quelque modification correspondante, légère, mais le *modus operandi* et les principes généraux du système restent invariables.

En outre, les minerais et les substances inertes réfractaires peuvent être aisément fondues et utilisées, et des résultats jusqu'ici non obtenus pourront être atteints.

GOOCH.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Electromètre Thomson (1894).

Cet appareil est construit sur le principe du « Replenisher » ou rechargeur de sir William Thomson.

Une dynamo A (fig. 1) fait tourner par une transmission flexible B, un cylindre C, à feuilles métalliques ou porteurs DD : autour de ce cylindre, et l'enveloppant, se trouvent deux feuilles E et F supportées par les bornes isolées *e* et *f*, et constituant l'une l'inducteur, l'autre le récepteur du replenisher. Les connexions sont telles que les porteurs D sont, quand ils passent devant E, reliés au bâti de l'appareil par un contact, puis, quand ils passent devant F, reliés à ce récepteur par un autre contact. Le récepteur F est relié à une aiguille d'aluminium G, suspendue entre les quatre pôles H d'un électomètre à quadrants, dont une paire est maintenue, par une petite pile, à un potentiel un peu plus élevé que celui de l'enveloppe de l'appareil. Le réglage de l'aiguille se fait en J. Son miroir est indiqué en K.

Dès la moindre différence de potentiel entre l'inducteur E et l'enveloppe de l'appareil, les

Digitized by Google

porteurs D, passant devant E, se chargent d'électricité qu'ils transportent en F, en élevant successivement le potentiel de l'aiguille E jusqu'à ce qu'elle se déplace par l'attraction des quadrants de l'électromètre.

Pour comparer une force électromotrice positive inconnue à une force négative connue, on remplace les inducteurs E par deux plaques métalliques, équidistantes des porteurs D, reliées l'une au point de potentiel connu, et l'autre au point de potentiel contraire. Les porteurs font, comme précédemment, contact avec l'enveloppe de l'appareil quand ils passent entre les deux plaques, et se chargent d'électricité tant que les forces électromotrices ne sont pas rigoureusement égales.

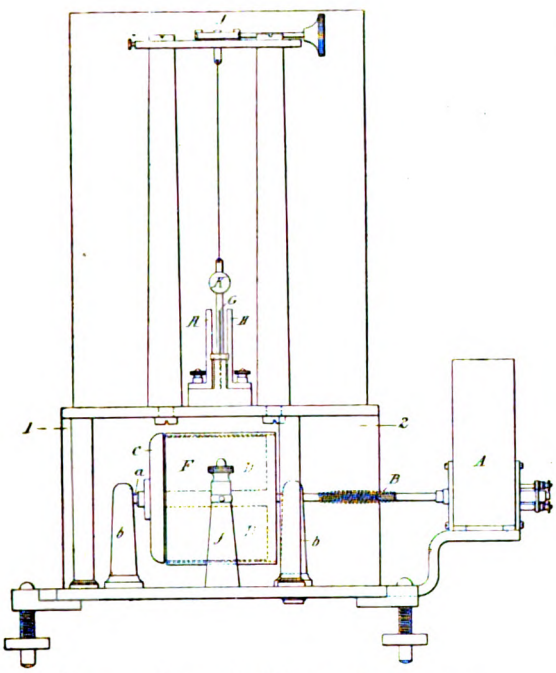


Fig. 1. — Coupe de l'électromètre Thomson.

G. R.

Voltmètre Harrison (1894).

L'aiguille 6 (fig. 1) est fixée à une tige 4 (fig. 2) montée sur pointes dans un petit châssis en bronze logé dans l'intérieur de la bobine 2, et dont les parois portent l'une une petite plaquette en fer 9, aussi longue que celle 7 de l'aiguille et l'autre deux plaquettes 10, 10ª,

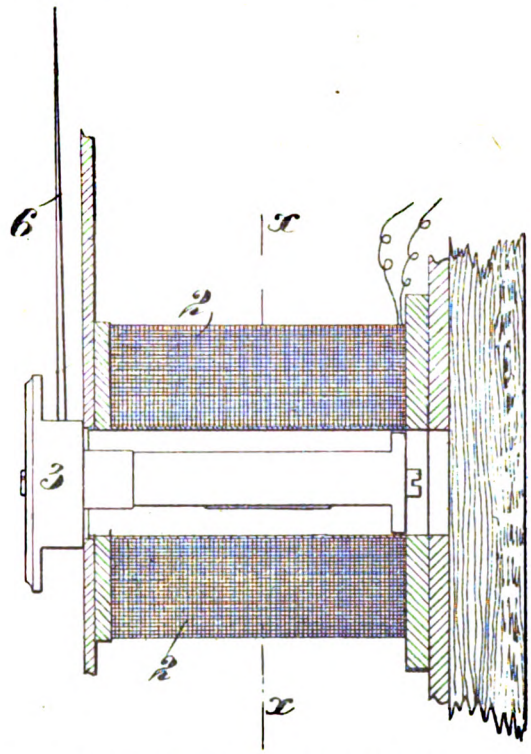


Fig. 1. — Coupe du voltmètre Harrison.

moitié moins longues. Dès que le courant à mesurer passe dans la bobine 2, la plaquette 9

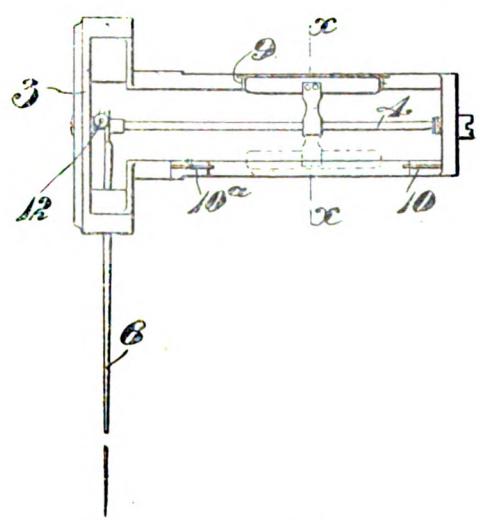


Fig. 2. — Coupe longitudinale du châssis en bronze.

repousse 7 et fait pivoter l'aiguille, malgré le poids réglable 4 et secondée par l'attraction

Digitized by Google

des pièces 10, 10ⁿ, qui augmente à mesure que la répulsion de 9 diminue. Cette action

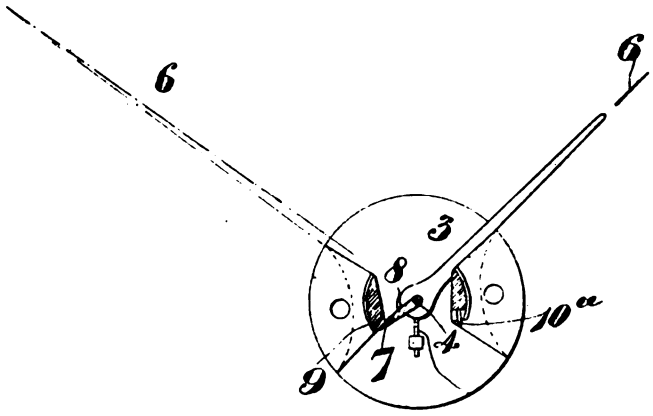


Fig. 3. — Coupe transversale du châssis.

compensatrice permet de n'employer que très peu de fer, et de diminuer les erreurs dues à l'histérésis. G. R.

Commutateurs pour bureau central de la Société des téléphones d'Anvers (1894)

Dans ce dispositif, l'électro-aimant de l'appel est (fig. 1 et 2) renfermé dans un tube G avec bras *c* supportant le jack en M et la plaque P de l'appel à volet V. Les lames L L_1 du jack sont disposées sur G au-dessus du guide M, à rainure traversée par l'extrémitée isolée *x* du levier K pivoté en *c* sur P, et dont l'autre

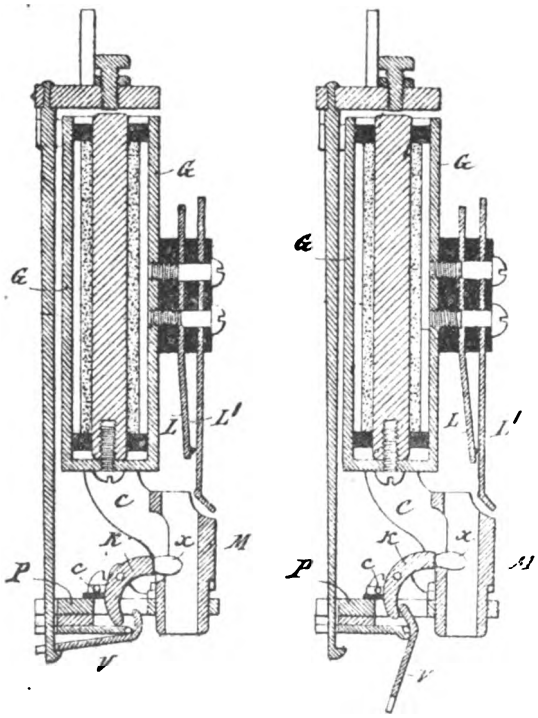


Fig. 1 et 2. — Commutateur téléphonique de la Société d'Anvers.

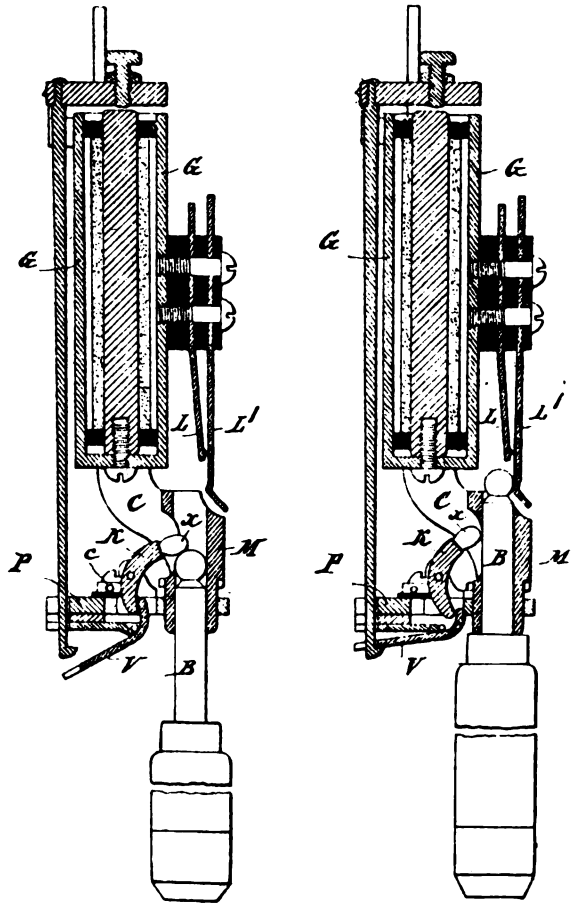


Fig. 3 et 4. — Commutateur téléphonique de la Société d'Anvers.

extrémité relève le volet V comme de figure 3 à figure 4 quand on y enfonce la fiche B.

La disposition du guide M et du volet V immédiatement au-dessus du trou du jack dispense l'opérateur de chercher le numéro du jack appelé par le volet V, et le rappel du volet par l'enfoncement même de la fiche en M, ou par la mise en communication dispense d'employer, à cet effet, des mécanismes électro-magnétiques plus compliqués et moins sûrs.

Digitized by Google

L'ensemble constitue en somme une installation plus simple, compacte et bien accessible dans toutes ses parties.

G. R.

L'industrie électrique à Londres, par Guido Semenza.

Un récent numéro du journal italien l'*Elettricista* donne, sous le nom de l'auteur précité, une intéressante et assez fine appréciation de l'état des esprits en Angleterre au point de vue des développements de l'industrie électrique.

L'Angleterre n'est certainement pas, dit-il, une des nations les plus avancées en électricité. Les applications de cette nouvelle industrie s'y réduisent à l'éclairage, à un petit nombre de cas isolés de traction et à quelques transports d'énergie dans les mines. Encore ne trouve-t-on là aucune nouveauté, rien de saillant, nulle tendance qui annonce le progrès. Il semblerait que l'Anglais, en fait d'industrie mécanique, est resté dans le doute et la méfiance en présence d'une forme d'énergie qui se manifeste sans mouvements apparents et se transmet sans l'entremise d'organes rigides. Une visite aux ateliers et aux installations de ce pays présente cependant un grand nombre de points intéressants.

Bien que la dynamo bipolaire y domine partout, quoique les courants polyphasés n'aient fait encore qu'une apparition en quelque sorte préliminaire dans les laboratoires, on peut entrevoir certaines tendances peut-être trop négligées à l'étranger, et on y recueille le sentiment d'idées pratiques et d'une largeur de vues qui laissent une bonne impression. On a coutume de dire qu'au fond les Anglais sont conservateurs; mais une observation approfondie montre qu'ils poussent rarement les choses à la perfection, parce qu'ils n'en ont pas besoin, ou parce qu'ils sont sollicités par des principes et des exigences de plus grande importance que le progrès lui-même ou en opposition avec ce progrès; ils obéissent rarement à la vraie obstination et aux véritables principes de conservation. Il en résulte des conséquences contradictoires. Ainsi, tandis qu'ils sont rebelles à la construction de machines multipolaires, ils ont, d'autre part, abandonné, avec un entrain qui rappelle l'engouement des Français, les machines à vapeur à allure lente avec leurs transmissions par courroies ou par câbles pour adopter la machine Willans et le principe de l'entraînement direct, nouveautés qui, dans d'autres pays, se frayent lentement leur voie. Ils appliquent sans hésitation les courants alternatifs à l'éclairage par incandescence, mais regardent encore la transmission de l'énergie par courants polyphasés du même œil qu'on regarde ailleurs les ballons dirigeables. Au fond de tout cela cependant on peut découvrir certaines considérations auxquelles les Anglais attachent une telle importance qu'elles deviennent pour eux préjudicielles et que tout leur est sacrifié. Ces considérations frappent l'esprit quand on visite une des nombreuses stations centrales d'éclairage de Londres.

Prenons-en une au hasard. Peu importe laquelle, car elles sont à peu près toutes coulées dans le même moule.

Une entrée sans apparence, une petite allée obscure vers l'arrière d'un immeuble, et au bout l'usine de la station. Un passage couvert, juste assez large pour laisser passer un wagonnet à charbon, en forme l'amorce. A gauche, par exemple, la soute au charbon, et à droite, un peu en contre-haut, la chambre des chaudières. La « chambre des chaudières » est encore un euphémisme; ce n'est qu'une longue série de chaudières Babcock et Wilcox montées le long du passage, et entre le mur de face et elles quelques mètres à peine. En suivant dans la même direction, on entre dans la salle des machines. Le long du mur qui la sépare de la chambre des chaudières est montée parallèlement à celles-ci une demi-douzaine de moteurs Willans, ou davantage, directement attelés sur un nombre égal de robustes dynamos bipolaires à induit inférieur fixées sur une plaque commune de fondation. Sur le mur qui leur fait face se trouve le tableau de distribution. Un store tamise une lumière

Digitized by Google

grise dans la salle des machines ; les murs en sont tachés et, entre une machine et sa voisine ou le mur, on peut à peine passer.

Pendant la visite de la station on questionne naturellement l'ingénieur qui en fait les honneurs.

« Pourquoi employez-vous des générateurs multitubulaires inexplosibles, qui sont moins économiques que d'autres, — comme sécurité sans doute ? »

« Non ; une chaudière bien conduite ne doit pas brûler. Ces générateurs consomment peut-être plus que d'autres ; mais ils coûtent moins cher et tiennent si peu de place ; ils sont d'ailleurs si rapidement mis en pression ! »

« Et les moteurs Willans fonctionnent bien ? »

« Très bien. On n'a pas à craindre d'accidents avec eux ; et si, par hasard, quelque chose vient à se rompre à l'intérieur, il n'en résulte rien extérieurement. En pareil cas on n'a même pas besoin de rechercher ce qui est arrivé. Il suffit de téléphoner à la maison de construction, et quelques heures après le moteur est remplacé. Ils ont toutefois le défaut d'être un peu encombrants. »

« Encombrants ! »

« Sans doute, quand on songe qu'une turbine à vapeur Parsons peut remplacer quatre de ces moteurs. »

« Oui, mais le rendement ? »

« On ne sait pas grand'chose à cet égard ; mais il paraît qu'à condensation ce rendement est assez bon. »

Et ainsi de suite. On voit immédiatement quelles sont les qualités requises avant tout : le peu d'encombrement et la sécurité de fonctionnement. L'encombrement est, dira-t-on, fonction du prix du terrain ; mais cette condition est de telle importance dans les centres de population très dense qu'elle ne peut être autrement réalisée que par une installation extérieure. Quant à la seconde, les Anglais ont besoin d'être sûrs de maintenir l'alimentation quand même. Pour donner une idée du point jusqu'où ils poussent la nécessité de sécurité de ce chef, il suffit de mentionner que dans certaines stations les dynamos, ou tout au moins deux d'entre elles, ne sont pas auto-excitatrices ; mais que leur courant d'excitation est emprunté à la canalisation, tant on trouve longue la durée de démarrage d'une dynamo auto-excitatrice !

Pour compléter la description de l'une de ces stations, il faut ajouter qu'elles sont toujours munies d'une double batterie d'accumulateurs ; que la distribution se fait dans le système à trois fils, et que leur capacité varie de 60 000 à 100 000 lampes à incandescence, soit de 3 000 à 5 000 kw.

Toutes ne sont pas d'ailleurs du même type ; quelques-unes se distinguent par des caractères particuliers.

On peut citer entre autres une station entièrement nouvelle installée sur la rive droite de la Tamise sous la direction de M. Mordey, de la C^ie^ Brush. La disposition générale est toujours la même ; mais elle est moins ramassée et présente plus d'ampleur et même un peu plus d'élégance. Les génératrices sont des alternateurs Mordey-Victoria de 500 kw. l'un, directement attelés sur des machines marines marchant à 100 tours environ par minute. Au point de vue mécanique ces alternateurs font une meilleure impression que celle laissée par les descriptions. L'induit fixe, d'apparence grêle, est en réalité très solide et très rigide ; les déformations en sont, dit-on, très rares. Toute la disposition d'interrupteurs et de commutateurs pour les courants sous 2 000 volts de tension est extrêmement ingénieuse ; les poignées en sont mutuellement reliées de manière à ne permettre les diverses connexions que dans un ordre déterminé. Cette précaution et le fait que tout est renfermé dans des colonnes d'acier, paraît donner pleine garantie contre tout danger possible.

Une autre station présentant un contraste frappant avec les autres est celle de la Société Ferranti, à Deptford. Au fond, l'idée qui a déterminé Ferranti à éloigner sa station centrale à 6,5 km de son centre de consommation était parfaitement juste ; elle était basée sur ce fait, qui peut sembler surprenant, qu'au centre de

Digitized by Google

Londres le charbon revient peut-être à 25 fr. la tonne, par suite de la difficulté d'en transporter et d'en emmagasiner des quantités aussi grandes que celles qui lui étaient nécessaires. Le long de la Tamise, au contraire, en aval de Londres, il ne revient pas à plus de 8,75 à 10 fr. la tonne. La conception était en conséquence fort simple : établir la station en un point où le charbon est à bon marché, produire le courant sous potentiel élevé et réduire la tension aux sous-stations pour la distribution.

C'est dans la machinerie que les déboires commencèrent. On chercha à étendre à tous les détails le principe économique servant de point de départ; on estima avantageux de lancer le courant sous une tension initiale de 10 000 volts pour éviter des pertes dans les transformateurs, et, surtout, d'employer des générateurs extrêmement puissants. On construisit rapidement deux alternateurs de 1 200 chevaux chacun, et, avant d'en connaître les résultats de fonctionnement, on alla encore plus loin, en décidant la construction d'un énorme alternateur de 10 000 chevaux, 7 500 kw. L'induit devait avoir un diamètre de 12 m.; il devait être directement actionné par deux machines à vapeur alimentées par 24 chaudières. L'ambition de faire ce qu'il y aurait de plus énorme dans l'espèce entra pour beaucoup dans cette décision qui, d'une conception raisonnable, conduisit à une véritable folie. Le fait est que les deux dynamos de 1 200 chevaux présentèrent tant d'inconvénients que leur bobinage dut être modifié, de manière à réduire à 1 250 volts la différence de potentiel, et que l'on dut compléter la station avec quatre autres groupes de générateurs de puissance ordinaire.

Et la dynamo géante? Les énormes masses de métal qui étaient appelées à la constituer reposent, toutes forgées, dans un champ au bord de la rivière; les 24 générateurs déjà en place sont froids; la machine géante ne sera pas construite. Ferranti a cependant obtenu un véritable succès avec ses appareils de mesures, qui, récemment perfectionnés, semblent très bien fonctionner. On les construit dans un atelier voisin du centre de Londres et qui est intéressant non seulement au point de vue de la méthode suivie dans son établissement, mais encore au point de vue de la réduction de son emplacement à 350 ou 400 mètres carrés. Il occupe cinq ou six étages auxquels on accède par des échelles de bois. Dans la cave humide est logé un moteur avec trois ou quatre grandes machines-outils.

Cette usine présente encore un autre spécimen de l'extrême auquel les Anglais poussent les choses. Ils n'alimentent pas de foyers à arc avec les courants alternatifs. Est-ce parce que les régulateurs de ce système ne donnent pas satisfaction ou parce qu'on veut avoir un bon rendement lumineux? Toujours est-il que, dans toutes les stations à courants alternatifs, le courant fourni est exclusivement affecté à des lampes à incandescence, et, à côté des alternateurs, se trouvent toujours des machines à courant continu à haut potentiel pour les foyers à arc. Ferranti a l'intention de supprimer ce double emploi dans une grande installation que sa maison prépare actuellement à Portsmouth. Les génératrices sont des alternateurs d'un nouveau type, analogue à ceux de Brown et Boveri. A la station centrale même sont montés des commutateurs actionnés par de petits moteurs à courants synchrones, dont l'objet est de transformer le courant pour l'accommoder aux foyers à arc. On affirme que le rendement de ces commutateurs est très élevé.

Parmi les établissements de construction électrique, l'un des plus beaux est sans aucun doute celui de la maison Siemens frères, pour dynamos, alternateurs, transformateurs, appareils de mesures, sans compter la grande usine de câbles sous-marins. On y voit les machines anglaises avec toutes leurs caractéristiques, et des machines bipolaires à induit inférieur de 400 chevaux.

Les Anglais se sont appliqués à faire avant tout de la dynamo une machine simple et robuste. Passés maîtres, comme ils le sont, en machines à vapeur, dont les organes doivent

Digitized by Google

résister à tous les efforts, ils devaient naturellement chercher également dans les dynamos un solide assemblage de leurs éléments, assurant un montage facile et un fonctionnement irréprochable ; et ce principe les a conduits à sacrifier toute considération d'inertie électromagnétique. De là leur prédilection pour les machines bipolaires dans lesquelles le nombre des entre-fers est réduit à un minimum et dont l'enroulement est le plus simple. Les inducteurs sont formés de trois blocs rectangulaires de forme absolument droite ; la plaque de fondation est généralement commune à la machine à vapeur ; l'induit est, sauf impossibilité, toujours en tambour, avec connexions transversales rigides.

D'autre part la façon est parfaite ; les bobinages sont faits avec un soin extraordinaire, les induits centrés avec une grande précision, tout est ajusté, fini, exact ; les machines sortant de ces ateliers donnent en fait toute satisfaction et, leur type étant admis, on n'en saurait trouver de meilleures.

Une autre maison qui travaille beaucoup est celle de Crompton et C^ie^. Mais ses dynamos, si appréciées qu'elles soient, plaisent peu à l'œil. Elles contiennent peu de fer ; leur forme ne respire pas la puissance et ressemble beaucoup à celle des anciennes machines Siemens et Halske de 1880. Cette usine construit actuellement des dynamos sans enroulement excitateur ; la force magnétomotrice est fournie par l'induit lui-même. La machine se présente bien, mais la nécessité d'éviter les étincelles entraîne dans le bobinage de l'induit une certaine complication. M. Crompton est également sur le point d'entreprendre la construction de machines quadripolaires qu'il déguise sous le nom de dynamos bipolaires à double circuit magnétique.

La seule maison qui s'adonne à la construction des machines multipolaires sur une grande échelle est celle de MM. Johnson et Phillips, qui travaille avec un fini et une précision dignes de la maison Siemens frères. On y sent l'influence du passage de M. Gisbert Kapp qui en a été l'ingénieur-conseil. Ses machines sont plus belles plus finies que les autres ; elles approchent du type des splendides machines suisses, dans lesquelles les exigences mécaniques marchent de pair avec les qualités électriques.

Chaque constructeur a une lampe à arc spéciale qu'il représente invariablement comme supérieure à toutes les autres, ce qui prouve qu'aucune ne réalise probablement l'idéal rêvé. Un grand nombre d'ateliers de construction de dynamos offrent de multiples spécimens de transmission électrique ; mais leur exemple ne paraît guère jusqu'ici avoir été suivi.

En ce qui concerne la traction électrique, elle est peu répandue, à l'exception du chemin de fer de Liverpool et du chemin de fer souterrain entre Londres et Clapham. Ce dernier offre l'avantage inappréciable d'une circulation dans une atmosphère respirable ; mais au point de vue technique il n'est pas très bien étudié ; l'emploi de locomotives, au lieu de voitures automotrices, est matière à bien des critiques, et, de plus, la voie fixe est mauvaise. L'auteur, à qui nous laissons, bien entendu, l'entière responsabilité de ses appréciations, en attribue la cause à la connexion rigide de la voie avec les tubes d'acier qui forment le tunnel et sont probablement soumis à de brusques déplacements relatifs. Le fait est qu'il y a, d'un bout à l'autre de la ligne, une succession de cahots qui laissent une fâcheuse impression comparativement à l'allure douce et tranquille des trains anglais ordinaires.

Une visite à Londres ne doit pas négliger les ateliers de MM. Willans et Robinson. Ce qui les rend intéressants, en dehors des moteurs à grande vitesse qui y sont construits, c'est le système industriel suivi. La grande force de cette usine réside dans la construction d'un petit nombre seulement de types de chaque espèce de machine. De là une organisation très méthodique du travail ; toutes les pièces, faites séparément, terminées et interchangeables, sont mises en magasin après un contrôle scrupuleux ; et, quand on a à cons-

Digitized by Google

truire une machine, il suffit d'en prendre en magasin les divers organes et de les assembler. Le soin extrême de la façon explique, dans une large mesure, le fonctionnement parfait de ces moteurs.

Cette manière de procéder, à coup sûr très économique, n'est possible qu'à deux conditions : la perfection quasi absolue de l'appareil construit, ne laissant place qu'à des modifications insignifiantes, pour ne pas dire nulles, et la certitude d'un vaste marché permettant les frais énormes de premier établissement qu'entraîne la confection des machines-outils indispensables à la fabrication des pièces interchangeables. Marché et capitaux ne manquent pas en Angleterre, non plus qu'en Amérique. Ce sont là deux facteurs importants du caractère industriel de nos rivaux d'outre-mer, facteurs que laisse de côté l'auteur de cette note.

E. B.

Singulier phénomène électrolytique.

A notre article paru sous ce titre dans le numéro 19 de ce journal, page 268, du 11 mai courant, nous avons omis d'ajouter que le phosphate de soude hydraté auquel fait allusion le journal américain cité est le phosphate bibasique de soude (PhO^5,2NaO,HO ou PO^4Na^2H). Quant aux thiosulfates, ce sont des hyposulfites ou sulfosulfates (sulfates dans lesquels un atome de soufre a déplacé un atome d'oxygène). Exemple :

Sulfate de soude		Na^2SO^4
Hyposulfite . . .	de soude.	$Na^2S^2O^3$.
Sulfosulfate . . .		
Thiosulfate . . .		

E. B.

Sur les tramways électriques, par G. Kapp.

Dans une récente conférence à la Société électrotechnique de Cologne, l'auteur, après avoir rappelé les divers modes de traction mécanique employés dans les grandes villes, et énuméré leurs inconvénients et avantages, a établi un intéressant parallèle entre la traction animale et la traction électrique dans deux villes importantes. Il s'agit de Boston et de Londres, villes dont les lignes de tramways ont à peu près même longueur totale. Dans la ville relativement petite de Boston on trouve 430 km. de voie presque totalement à traction électrique. Londres, dix fois plus étendue que Boston, possède 400 km. de tramways, tous à traction par chevaux. La différence de longueur entre les deux réseaux n'est donc pas très importante. De même, pour le nombre annuel de voitures-kilomètres il y a équivalence; Boston en fournit à peu près 30 millions, Londres 35 millions. On compte donc par kilomètre de voie, à Boston 70 000 voitures-kilomètres, à Londres 87 500; c'est-à-dire que Londres utilise ses voies d'environ 25 p. 100 mieux que Boston. Malgré cela les résultats économiques sont de beaucoup en faveur de Boston, c'est-à-dire de l'exploitation électrique.

	A Londres.	A Boston.
Les dépenses d'exploitation ont été, en 1893, de.	22,3 millions de fr.	23 millions.
Recettes totales.	26,0 —	33,6 —
Dépenses en p. 100 des recettes.	82,7	68
Capital	88,7 millions.	111 millions.
Dividende. , ...	3 1/3 0/0	9 0/0

Le développement extraordinairement rapide des lignes électriques en Amérique ne doit pas être attribué seulement aux avantages de la traction électrique; mais il a été favorisé par d'autres circonstances, dont il faut tenir compte quand on établit à ce point de vue une comparaison entre l'Amérique et l'Europe. Si l'Amérique possède tant de lignes électriques, c'est que tout d'abord son territoire est beaucoup plus grand et que d'autre part ses autres moyens de communication sont bien plus mauvais qu'en Europe. Les Etats-Unis se sont développés si rapidement que l'on n'a pas eu le temps d'y établir des routes et des

Digitized by Google

rues telles que nous les possédons, et la voie ferrée reste la principale voie de communication. On comprend donc que la traction électrique y ait dès le début trouvé d'excellentes conditions de développement, d'autant plus que les Américains attachent peu d'importance à la question esthétique.

Chez nous, les conditions sont différentes, Nous avons partout d'excellentes routes, de même qu'un réseau assez complet de chemins de fer, de sorte que la traction électrique doit conquérir sa place concurremment avec les autres moyens de transport. Son développement étant plus lent, bien des insuccès de début que n'ont pu éviter les Américains, nous sont épargnés.

Pour montrer l'extension de la traction électrique, l'auteur communique les statistiques qu'il a pu recueillir pour l'Allemagne. Il existe actuellement dans ce pays 340 km. de voie à traction électrique avec 550 voitures automobiles et 420 voitures remorquées. La force motrice totale des stations centrales est de 9 500 chevaux. En outre, 180 km. de lignes sont en construction et seront équipés avec 290 voitures automobiles.

La ligne électrique la plus ancienne est celle de Lichterfelde construite en 1881 par la maison Siemens et Halske. Mais la véritable extension des lignes électriques en Allemagne ne date que de 1891. La plus forte rampe est celle de 10,6 p. 100 sur la ligne de Remscheid construite par la Société « Union ». La ligne d'Altenburg en voie de construction présentera une rampe de 9 p. 100. Mais on trouve des rampes jusqu'à 20 p. 100 sur la ligne électrique à crémaillère de Barmen, établie par la maison Siemens et Halske. Le réseau le plus étendu est celui de Hambourg avec 147 km. de voies.

En ce qui concerne les dépenses et recettes d'exploitation nous en donnons ci-dessous un tableau pour sept lignes dont les résultats ont été communiqués à l'auteur par la Société d'électricité Union.

	BRÈSE	REMSCHEID	HAMBOURG	ERFURT	BRUXELLOIS	VICINAUX	GOTHA
Voitures-kilomètres (automobiles) par mois . . milliers	65	30	275	77	68	20	16
Voitures-kilomètres (remorquées) par mois . . —	15	—	50	1	65	20	—
Recettes par train-kilomètre . . . . . centimes	45	51	73	30	81	100	50
Dépenses d'exploitation par train-kilomètre . . —	6,6	12,7	8,1	8,4	9,2	15,2	11,4
Réparations — — . . —	3,6	4,9	1,4	0,52	2,55	2,9	2,05
Dépenses totales — — . . —	10,3	17,1	9,5	9,0	11,7	18,2	13,5
Rapport des dépenses aux recettes . . . . . o/o	22,8	34,3	13,4	13,4	14,5	18,1	26,1

Ces frais d'exploitation ne comprennent que la partie affectée à la production de la force motrice. Elles comportent par suite les dépenses en combustible, eau, graissage, chiffons, produits chimiques pour l'épuration de l'eau, et salaires pour l'usine et la manœuvre des voitures. Non compris sont l'amortissement et l'intérêt, l'administration, l'entretien de la voie, des bâtiments, bureaux, voitures, etc.

L'auteur jette ensuite un coup d'œil sur les trois modes d'application de l'électricité à la traction par accumulateurs, par canalisation souterraine et par ligne aérienne.

Les voitures à accumulateurs ne donnent pas de bons résultats au point de vue économique ; cela tient principalement au poids considérable des accumulateurs au plomb et à leur détérioration rapide sous l'influence de régimes de décharges variables et excessifs. Depuis quelques mois la fabrique d'accumulateurs de Hagen exploite une ligne de tramways dont les voitures sont pourvues de batteries du système Waddell-Entz (au zinc-

Digitized by Google

cuivre)[1], qui admettent sans inconvénient des intensités de décharge considérables. Les résultats que donnera cette ligne d'essai seront certainement d'un haut intérêt.

Quant aux deux autres procédés, dans lesquels le courant est pris sur une ligne extérieure, ils ont depuis longtemps passé la période d'essai. Comme exemple de canalisation souterraine, on peut citer les tramways de Budapest. Il est certain que les dépenses de construction doivent être plus élevées pour une canalisation souterraine que pour une ligne aérienne, mais la différence n'est pas si considérable, surtout quand la construction de la ligne aérienne doit comporter quelques dispositions artistiques. A Budapest, par exemple, les frais de construction ont été par kilomètre de voie souterraine de 60 000 francs environ, tandis que pour une ligne aérienne de la même ville les frais ont été de 52 000 francs environ. Il est vrai que, dans ce dernier cas, on a dû employer des poteaux décoratifs en fonte d'art, et placer les feeders en souterrain.

Une des difficultés que rencontre l'électricien et qui se fait surtout sentir dans les petites installations réside dans les variations brusques et considérables du courant. Pour remédier à cet inconvénient, on emploie quelquefois les accumulateurs, comme sur la ligne de Douglas-Ramsey et à Hirslanden, près de Zurich. Dans cette dernière installation, la station génératrice comprend deux moteurs à vapeur de 90 chevaux, dont un sert de réserve. La batterie d'accumulateurs compte 300 éléments pouvant donner en régime normal 81 ampères. Le courant sur la ligne varie avec 9 voitures en service de 50 à 110 ampères, mais atteint quelquefois 200 ampères. Des appareils automatiques règlent le débit de telle sorte que la dynamo fournisse constamment 80 ampères, la différence étant fournie par la batterie. Des expériences ont montré que la machine à vapeur fournit journellement 907 chevaux-heures, en consommant 1 350 kg. de charbon. On a donc un cheval-heure pour 1,5 kg. de charbon. Dans les installations analogues, mais non pourvues d'accumulateurs, le cheval-heure consomme jusqu'à 2,5 kg. de charbon. L'économie de 1 kg. de combustible par cheval-heure résulte de ce que la machine à vapeur travaille uniformément à pleine charge.

A. H.

[1] Voir l'*Eclairage Électrique* du 23 mars 1895, p. 551.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Sur la théorie électromagnétique de l'absorption de la lumière dans les cristaux, par Bernard Brunhes [1].

Nous ne faisons que signaler cette communication, l'auteur se proposant d'en faire l'objet d'un Mémoire plus étendu que nous publierons prochainement.

Solution générale des équations de Maxwell pour un milieu absorbant homogène et isotrope, par Birkeland [2].

« Dans un Mémoire qui paraîtra prochainement dans les *Archives de Genève*, je viens d'examiner comment se développe un ébranlement électromagnétique quelconque dans un milieu homogène et isotrope ayant les coefficients d'induction électrostatique et magnétique ε et μ et la conductibilité spécifique λ.

« J'en donnerai ici les résultats en les discutant succinctement.

« Désignons par les fonctions X, Y, Z les composantes de la force électrique au point (x, y, z), à l'époque t; de même, par L, M, N les composantes de la force magnétique. Ces

[1] *Comptes rendus*, t. CXX, p. 1041, 12 mai 1895.
[2] *Comptes rendus*, t. CXX, p. 1046, 13 mai 1895.

Digitized by Google

six fonctions, *qu'il s'agit de trouver*, dépendent alors des coordonnées x, y, z et du temps t.

« A l'époque $t = 0$, ces mêmes fonctions se réduisent à six fonctions X_0, Y_0, Z_0 et L_0, M_0, N_0, *que nous supposerons données* et qui ne dépendent donc que des trois variables x, y, z.

« Les variations que subissent les quantités X, Y, Z, L, M, N au cours du temps sont données par les équations de Maxwell qui, dans la notation de Hertz, ont la forme suivante (1) :

$$(I)\quad \begin{cases} A\varepsilon \dfrac{dX}{dt} = \dfrac{dM}{dz} - \dfrac{dN}{dy} - 4\pi\lambda AX, & A\mu \dfrac{dL}{dt} = \dfrac{dZ}{dy} - \dfrac{dY}{dz}, \\ A\varepsilon \dfrac{dY}{dt} = \dfrac{dN}{dx} - \dfrac{dL}{dz} - 4\pi\lambda AY, & A\mu \dfrac{dM}{dt} = \dfrac{dX}{dz} - \dfrac{dZ}{dx}, \\ A\varepsilon \dfrac{dZ}{dt} = \dfrac{dL}{dy} - \dfrac{dM}{dx} - 4\pi\lambda AZ, & A\mu \dfrac{dN}{dt} = \dfrac{dY}{dx} - \dfrac{dX}{dy}, \end{cases}$$

A étant la vitesse de la lumière dans le vide.

« Les équations précédentes avec les conditions initiales des fonctions qui y entrent se rattachent directement à une classe d'équations aux dérivées partielles, pour lesquelles Mme Kowalevsky a montré qu'il existe un seul système d'intégrales (1).

« Je viens de trouver ce système en généralisant d'abord une formule bien connue de Poisson à laquelle il a été conduit en résolvant l'équation du mouvement des fluides élastiques (2).

« De mes recherches, il résulte que :

« Les fonctions X, Y, Z, qui satisfont aux systèmes d'équations (I) et qui, pour $t = 0$ se réduisent aux fonctions données X_0, Y_0, Z_0, auront la même forme qui, pour X, sera

$$(a)\quad \begin{cases} X = \dfrac{e^{-\frac{\omega}{2}t}}{16\pi^2}\left\{\dfrac{1}{t}\dfrac{d}{dt}\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi} e^{-\frac{\omega}{2}t\sin\varphi_1\sin\varphi_2\sin\varphi_3\sin\varphi_4}\left[\frac{1}{A\varepsilon}\left(\frac{dM_0}{dz} - \frac{dN_0}{dy}\right) - \frac{\omega}{2}X_0\right]t^3\,d\sigma \right. \\ \qquad \left. + \left[\dfrac{1}{t}\dfrac{d}{dt}\int_0^{\pi}\int_0^{\pi}\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi} e^{-\frac{\omega}{2}t\sin\varphi_1\sin\varphi_2\sin\varphi_3\sin\varphi_4}(X_0)^1\,t^3\,d\sigma\right]\right\} \\ \quad - e^{-\frac{\omega}{2}t}\int_0^{rt}\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi}\dfrac{\partial\rho_e(x + r\cos\theta)(y + r\sin\theta\sin\psi)(z + r\sin\theta\cos\psi)}{\partial x} \\ \qquad \times\left[\Lambda(r, vt) - \frac{2}{\omega}\frac{d\Lambda}{dt} + e^{-\frac{\omega}{2}t}\right] r\sin\theta\,dr\,d\theta\,d\psi, \end{cases}$$

où

« 1° L'indice 1 figurant dans ces expressions signifie que les variables primitives x, y, z sont à remplacer respectivement par

$$(x + vt\cos\varphi_1),\ (y + vt\sin\varphi_1\cos\varphi_2),$$
$$(z + vt\sin\varphi_1\sin\varphi_2\cos\varphi_3);$$

« 2° La différentielle $d\sigma$ remplace $\sin^3\varphi_1 \sin^2\varphi_2 \sin\varphi_3\, d\varphi_1 d\varphi_2 d\varphi_3 d\varphi_4$;

« 3° La fonction $\rho_e(x, y, z) = \left(\dfrac{dX_0}{dx} + \dfrac{dY_0}{dy} + \dfrac{dZ_0}{dz}\right)$ représente la densité primitive de l'électricité libre à l'époque $t = 0$;

« 4° $$r = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}, \qquad p = \frac{1}{\sqrt{A\varepsilon\mu}}, \qquad \omega = \frac{4\pi\lambda}{\varepsilon};$$

« 5° $$\Lambda(r, vt) = r\sum_0^{\infty}{}_n \frac{\left(\frac{\omega}{2p}\right)^{2n+1}}{(2n+1)!}\sum_{p=0}^{p=n}{}_p \frac{1.3.5\ldots[2(n-p)-1]}{2.4.6\ldots 2(n-p)}(vt)^{2p}\left[(vt)^2 - r^2\right]^{n-p}(3).$$

Les expressions pour Y et Z se déduisent de X par permutation circulaire et les valeurs L, M, N sont d'une forme à peu près analogue.

(1) Mme Kowalevsky, *Journ. de Crelle*, t. 80, p. 11; 1875.

(1) Hertz, *Œuvres complètes*, t. II, p. 218.

(2) Poisson, *Mém. de l'Acad.*, t. III, p. 121; 1818.

(3) Pour $p = n$, il faut donner le coefficient 1 au terme $(vt)^{2p}$.

Digitized by Google

« On peut cependant transformer d'une manière très intéressante les deux premiers termes de l'expression (*a*). La perturbation électromagnétique primitive étant par hypothèse limitée, les fonctions X_0, Y_0, Z_0, L_0, M_0, N_0 n'ont de valeurs différentes de zéro qu'à l'intérieur d'une certaine surface S.

« Désignons par *a* la distance minima et par *b* la distance maxima du point considéré (x, y, z) à cette surface.

« On aura donc (en supposant ici, pour simplifier l'écriture, $\rho_e = 0$) :

1° Si $t < \frac{a}{v}$,

$$X = 0$$

« 2° Si $\frac{b}{v} > t > \frac{a}{v}$,

$$X = \frac{\omega^2 c^{-\frac{\omega}{2}t}}{32\pi v^3}\left\{\int_a^{vt}\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi}\left[\frac{1}{A\varepsilon}\left(\frac{dM_0}{dz}-\frac{dN_0}{dy}\right)-\frac{\omega}{2}X_0\right]^{(r)}\Phi(r,vt)\sin\theta\,dr\,d\theta\,d\psi + \frac{d}{dt}\int_a^{vt}\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi}(X_0)^{(r)}\Phi(r,vt)\sin\theta\,dr\,d\theta\,d\psi\right\}$$

$$+\frac{c^{-\frac{\omega}{2}t}}{4\pi}\left\{\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi}\left[\frac{1}{A\varepsilon}\left(\frac{dM_0}{dz}+\frac{dN_0}{dy}\right)+\frac{\omega}{2}X_0\right]^{(vt)}t\sin\theta\,d\theta\,d\psi + \frac{d}{dt}\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi}(X_0)^{(vt)}t\sin\theta\,d\theta\,d\psi\right\}.$$

» 3° Si $t > \frac{b}{v}$,

$$X = \frac{\omega^2 c^{-\frac{\omega}{2}t}}{32\pi v^3}\left\{\int_a^{b}\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi}\left[\frac{1}{A\varepsilon}\left(\frac{dM_0}{dz}-\frac{dN_0}{dy}\right)-\frac{\omega}{2}X_0\right]^{(r)}\Phi(r,vt)\sin\theta\,dr\,d\theta\,d\psi + \frac{d}{dt}\int_a^{b}\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi}(X_0)^{(r)}\Phi(r,vt)\sin\theta\,dr\,d\theta\,d\psi\right\}$$ (1).

« L'indice (r) signifie que les variables x, y, z, dans les expressions qu'il affecte, sont remplacées par $(x + r\cos\theta)$, $(y + r\sin\theta\sin\psi)$, $(z + r\sin\theta\cos\psi)$; de même pour l'indice (vt), en substituant partout vt à r.

« La fonction

$$\Phi(r, vt) = \sum_0^{\infty}\left(\frac{\omega}{4v}\right)^{2n}\frac{(vt)^2 - r^2}{n!^2(n+1)}^n r^2.$$

« *Remarque.* — Si le point considéré (x, y, z) se trouve à l'intérieur de la surface S, nous n'avons qu'à considérer les deux derniers cas $t < \frac{b}{v}$ et $t > \frac{b}{v}$ en posant $a = 0$.

« Les résultats que nous venons d'indiquer nous apprennent que l'ébranlement électromagnétique est toujours limité extérieurement par une surface parallèle à la surface S et séparé d'elle par un intervalle vt; de plus, qu'il y a une autre surface remarquable, également parallèle à S à une distance $-vt$ et formant comme la limite intérieure de l'ébranlement proprement dit et à l'intérieur de laquelle il n'y a plus qu'un *résidu*.

« La discussion de ce résidu, au point de vue des phénomènes d'Optique, conduit à des conséquences surprenantes. »

(1) Comparez ces formules aux résultats obtenus par M. Poincaré dans sa belle Note *Sur la propagation de l'Electricité* (*Comptes rendus*, t. CXVII, n° 26).

Sur la mesure des températures par les couples thermo-électriques, par Edm. van Aubel et R. Paillot (2).

Dans un travail actuellement en cours d'exécution, nous nous sommes proposé de vérifier, pour les alliages, la loi de G. Wiedemann et Franz qui établit une relation entre les conduc-

(2) *Archives des sciences physiques et naturelles*, Genève, t. XXIII, p. 148, 15 février 1895.

Digitized by Google

tibilités calorifique et électrique des métaux.

A cette occasion, nous avons été amenés à mesurer des températures par un couple thermo-électrique. Le travail actuel contient les résultats que nous avons obtenus dans cette étude. Nous croyons devoir les publier dès maintenant pour prendre date, M. A. Kleiner ayant communiqué tout récemment à la Société helvétique des sciences naturelles réunie à Schaffhouse les conclusions de ses expériences dans la même voie (1).

Depuis quelques années, plusieurs recherches ont été faites en vue de trouver un alliage qui convienne pour étalon de résistance électrique, c'est-à-dire dont la résistance électrique ne varie que d'une façon insignifiante avec la température. Parmi les alliages qui ont été découverts à cette occasion, on peut citer notamment le patentnickel, le constantan et la manganine.

Le principal inconvénient du patentnickel et du constantan est de former avec le cuivre un couple dont le pouvoir thermo-électrique est très notable. Ainsi, tandis que pour le couple maillechort-cuivre on obtient entre 20 et 30 microvolts par degré centigrade, le couple constantan-cuivre donne 40 microvolts et le couple manganine-cuivre 1 à 2 microvolts seulement (2).

L'étude du pouvoir thermo-électrique de la manganine a fait récemment l'objet d'un travail étendu (3).

MM. Klemencic et Czermak ont les premiers utilisé des éléments thermo-électriques formés de patentnickel-fer et de constantan-fer. Ces métaux qui peuvent être obtenus en fils très fins donnent respectivement, d'après les deux physiciens autrichiens, une force électromotrice de 43 et 51 microvolts par degré (4).

(1) A. Kleiner. *Arch. des Sc. phys. et nat.*, t. XXII, p. 280, 15 sept. 1894.

(2) Lindeck. *L'Electricien*, (2), t. IV, p. 314, 1892.

(3) O. Peirce. Thermoelectric Properties of Platinoïd and Manganine. *The American Journal of Science*, p. 302, octobre 1894. *L'Eclairage Electrique*, t. III, p. 236.

(4) Klemencic et Czermak. *Annalen der Physik*, nouvelle série, t. L, p. 175, note 2, 1893.

Rappelons que le couple bismuth-antimoine donne seulement 50 microvolts par degré (1) et le couple neusilber-fer 29 microvolts.

M. V. Fuchs(2) a recherché lequel des alliages de cuivre et nickel en différentes proportions présentait le plus grand pouvoir thermoélectrique en présence du fer. Parmi les alliages qu'il a étudiés, celui qui est formé de 54 p. 100 de cuivre et de 46 p. 100 de nickel jouit de cette propriété et son pouvoir thermo-électrique en combinaison avec le fer est de 56 microvolts par degré (entre 18° et 98°,9), tandis que le couple constantan-fer dans les les mêmes conditions donne 54,2 microvolts. La différence n'est donc pas bien grande et d'ailleurs l'alliage 54 cuivre 46 nickel n'existe pas dans le commerce, tandis que le constantan est d'un usage courant.

M. Englisch (3) a recherché aussi les pouvoirs thermo-électriques des divers alliages de cuivre et de nickel, mais en combinaison avec le plomb, en vue d'examiner s'il existe un parallèle entre les variations de la résistance électrique et du pouvoir thermo-électrique.

Il résulte des travaux que nous avons rappelés que le couple fer-constantan mérite une étude spéciale, puisqu'il peut être obtenu facilement en fils fins et possède un si grand pouvoir thermo-électrique.

Il faut avant tout étudier la variation de la force électromotrice avec la différence des températures des soudures.

Cette recherche a été faite par M. V. Fuchs entre 0° et 205°, pour les 6 intervalles de température suivants :

Température			
de la chambre	(15° à 20°)	et 0° glace fondante.	
d'ébullition de l'alcool	(77°)	et temp. de la chambre.	
» de l'eau	(98°)	»	»
» du xylol	(137°)	»	»
» de l'aniline	(180°)	»	»
» du nitrobenzol	(205°)	»	»

(1) Heydweiller. Hülfsbuch für die Ausführung elektrischer Messungen, p. 146.

(2) V. Fuchs. Ueber das thermoelektrische Verhalten einiger Nickel-Kupfer Legierungen, Graz, 1893.

(3) Englisch. Thermoelektrische Untersuchungen. *Annalen der Physik*, nouvelle série, t. L, p. 109, 1893.

Digitized by Google

Les températures que nous avions à mesurer étant comprises entre 20° et 100°, nous avons cru utile d'étudier à nouveau la variation de la force électromotrice du couple fer-constantan, entre 0° et 100°, en opérant sur un plus grand nombre de températures pour obtenir plus d'exactitude dans la mesure des températures.

Cette recherche préliminaire était nécessaire, car on ne peut admettre que l'alliage fourni par l'industrie sous le nom de constantan présente toujours la même composition.

Indépendamment de cette étude, qui nous a

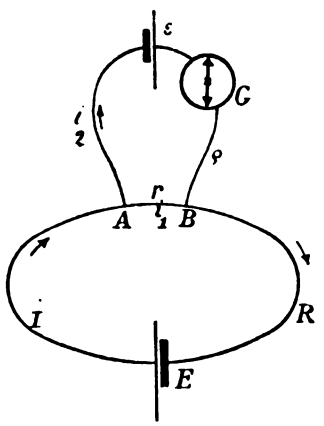


Fig. 1.

fourni les indications indispensables pour la comparaison des conductibilités calorifiques des métaux, nous avons examiné également les couples constantan-manganine et constantan-aluminium, qui ont donné des résultats intéressants.

DE LA MÉTHODE. — La méthode employée est celle qui a été indiquée par M. V. Fuchs (1); elle rappelle celle de Poggendorff. Il est utile d'entrer dans quelques détails au sujet de cette méthode de mesure des forces électromotrices, parce qu'elle est commode et que, d'autre part, l'intéressant mémoire de M. V. Fuchs est à peu près inaccessible (2).

Soient ε (fig. 1) la force électromotrice thermo-électrique (par conséquent très petite), E la force électromotrice d'une pile constante (élément Daniell sans vase poreux), G le galvanomètre, ρ la résistance de A en B par G, R la résistance de A à B par E, r la résistance de A à B, i_2, I et i_1 les intensités respectives des courants.

On a :

$$I = i_1 + i_2$$
$$E = IR + i_1 r$$
$$\varepsilon = i_2 \rho - i_1 r,$$

et, par conséquent, si r est très petit par rapport à R :

$$i_2 = \frac{rE + R\varepsilon}{R(r+\rho)}.$$

Désignons par $\eta_1 = i_1 r$ la force électromotrice en A; il en résultera :

$$\eta_1 + \varepsilon = i_2 \rho = \frac{\rho(rE - R\varepsilon)}{R(r+\rho)}. \qquad (1)$$

Intervertissons les pôles de ε, nous aurons :

$$\eta_1 - \varepsilon = \frac{\rho(rE - R\varepsilon)}{R(r+\rho)}. \qquad (2)$$

Les équations (1) et (2) donnent :

$$\frac{\eta_1}{\varepsilon} = \frac{rE}{R\varepsilon} \text{ ou } \eta_1 = \frac{r}{R} E.$$

On a supposé $\eta_1 > \varepsilon$. Le même résultat s'obtient si $\eta_1 < \varepsilon$.

On a donc, pour $\eta_1 > \varepsilon$:

$$\eta_1 + \varepsilon = i_2 \rho,$$
$$\eta_1 - \varepsilon = i'_2 \rho;$$

d'où

$$\varepsilon = \frac{i_2 - i'_2}{i_2 + i'_2}\eta_1 \quad \text{avec} \quad \eta_1 = \frac{r}{R} E;$$

et pour $\eta_1 < \varepsilon$:

$$\varepsilon + \eta_1 = i_2 \rho,$$
$$\varepsilon - \eta_1 = i'_2 \rho,$$

d'où

$$\varepsilon = \frac{i_2 + i'_2}{i_2 - i'_2}\eta_1 \quad \text{avec} \quad \eta_1 = \frac{r}{R} E.$$

La formule est obtenue en supposant r très petit vis-à-vis de R. Elle nous apprend que la résistance ρ du galvanomètre n'intervient pas, résultat auquel on ne s'attendait pas.

Pour obtenir ε en microvolts, et non en fraction de la force électromotrice de l'élément

(1) *Loco citato.*

(2) Ce travail est actuellement épuisé, et n'a été reproduit dans aucune revue.

Digitized by Google

Daniell employé, et pour tenir compte en même temps de toutes les variations de E, l'élément Daniell est comparé, dans chaque série d'expériences, à un étalon Latimer Clark.

Cette comparaison se fait de la manière suivante :

On a, d'après la figure 2 :

$$I = I' + i$$
$$E + Cl = RI + rI'$$
$$rI' = R'i.$$

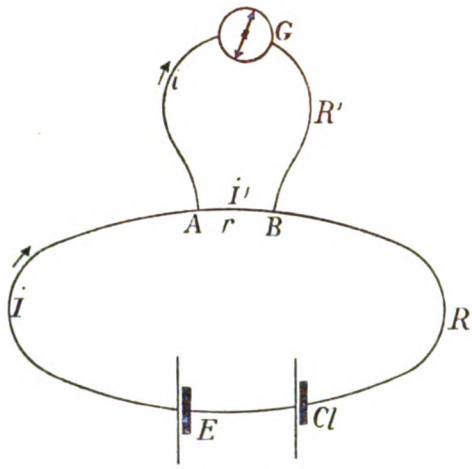


Fig. 2.

On en déduit :

$$i = \frac{E + Cl}{R + R' + \frac{RR'}{r}}$$

ou en posant

$$R + R' + \frac{RR'}{r} = \rho' :$$

$$i = \frac{E + Cl}{\rho'} \quad \text{ou} \quad Cl + E = \rho' i.$$

On a supposé E et Cl en série. Admettons en outre E < Cl et intervertissons les pôles de E, nous aurons :

$$Cl - E = \rho' i',$$

d'où

$$E = \frac{i - i'}{i + i'} Cl,$$

résultat dans lequel n'entrent pas les résistances.

Pour la facilité des expériences, les appareils étaient disposés comme le montre la figure 3.

S_T et S_t sont les soudures du couple thermo-électrique aux températures T et t. En I, II, III se trouvent des boîtes de résistances sur lesquelles sont prises respectivement les résistances R = 10 000 ohms, r = 10 ohms et une résistance de 40 000 ohms, qui a pour but de protéger l'élément Clark.

Des commutateurs (α), (β), (γ) servent à intervertir les pôles des éléments thermo-élec-

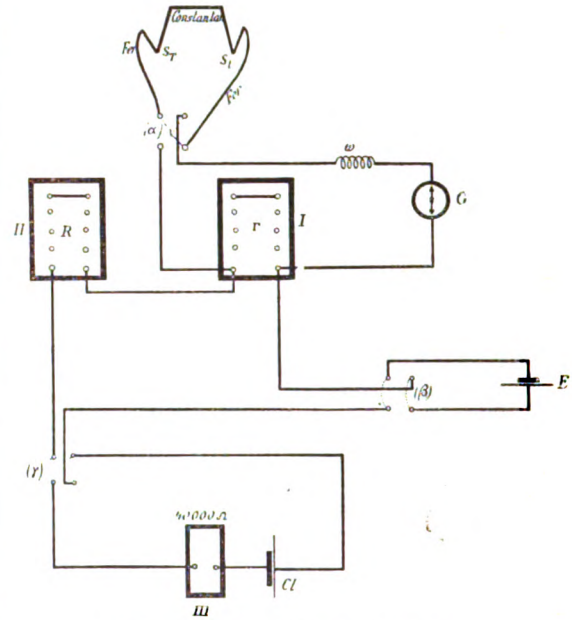


Fig. 3. — Disposition des appareils.

triques, Daniell et Clark. Ils sont formés par des blocs de paraffine dans lesquels on implante des tubes de verre qui seront à moitié remplis de mercure. Ces commutateurs sont plongés dans des vases remplis d'eau ou entourés de glace fondante, afin d'éviter des forces électromotrices parasites. On établit la communication entre les tubes remplis de mercure par des tiges de cuivre en forme de II dont la branche horizontale traverse un morceau de liège, afin d'éviter l'échauffement au contact des doigts.

Une résistance ω, intercalée dans le circuit du galvanomètre, sert à régler la grandeur des déviations du miroir, qui n'étaient pas les mêmes lors de la comparaison de ε et η, ou de η et Cl.

Digitized by Google

Nous avons employé un galvanomètre à miroir très sensible de Wiedemann, avec amortisseur en cuivre et aimant en cloche, construit par Hartmann et Braun. Les lectures sont faites à la lunette sur une échelle placée à 2 m. 50 du miroir.

Les boîtes de résistance sont isolées sur des blocs de paraffine, ainsi que les éléments Clark et Daniell, dont on avait soin de maintenir constante la température.

La force électromotrice de l'élément Clark est calculée par la formule de MM. Glazebrook et Skinner (1) :

$$Cl = 1^{volt},4342\,[1 - 0{,}000755\,(t - 15^{\circ})].$$

RÉALISATION DES TEMPÉRATURES CONSTANTES. — Une des soudures était maintenue à la température de 0° au moyen de glace fondante finement pulvérisée et placée dans un entonnoir pour l'écoulement de l'eau.

Les températures comprises entre 15° et 60° étaient obtenues au moyen d'un thermostat. Celui-ci était formé par un vase en cuivre de grande capacité rempli d'eau chauffée à une température déterminée par un grand bec Bunsen. Dans ce grand vase se trouvait un long serpentin en cuivre de plusieurs mètres de longueur parcouru par un courant d'eau de la ville, dont la vitesse était réglée à l'aide d'un robinet spécial.

Au sortir du serpentin, l'eau chaude arrivait par un tube C au fond d'un vase A et se déversait à la partie supérieure de ce vase pour s'écouler enfin par la tubulure B. Dans le vase A, on plaçait la soudure thermo-électrique.

On pouvait réaliser ainsi des températures très constantes.

Les températures 78° et 100° ont été obtenues au moyen de l'étuve à température constante de M. le professeur Pfaundler (2) et des vapeurs d'alcool et d'eau.

(1) GLAZEBROOK ET SKINNER. *Proceedings of Royal Society of London*. t. LI, p. 60, 1892. — *La Lumière Electrique*, t. XLV, p. 290, 1892.

(2) MÜLLER-POUILLET'S. *Lehrbuch der Physik*, 8e édition, par Pfaundler, t. II, 2e partie, 1879, p. 293, fig. 185.

DES SOUDURES. — Les fils de fer, constantan, manganine provenaient de la maison Vogel (1); le fil d'aluminium pur nous a été fourni par M. le Dr H. König, fabricant de produits chimiques (2).

Ces fils avaient 0,3 millimètre de diamètre.

Les soudures des couples thermoélectriques étaient faites à l'étain. Après avoir soudé les deux fils tordus ensemble, on enlevait avec une pince coupante la plus grande partie de la torsade.

Pour souder l'aluminium au constantan, on recouvre d'abord le fil d'aluminiun, par galvanoplastie, d'une couche de cuivre (3), et l'on effectue ensuite la soudure à l'étain comme d'habitude.

Les éléments thermo-électriques étaient fixés par du fil de coton aux thermomètres qui indiquaient les températures des soudures.

MESURES A FAIRE. — Chaque série de mesures comprenait : 1° la comparaison de E avec Cl, et 2° la comparaison de ε avec η ; en tout 8 lectures au galvanomètre. Donnons un exemple :

Graduation du couple-fer-constantan.

1° Comparaison de E avec Cl.

Le zéro du galvanomètre est à la division 300.

Cl + E,	lecture au galvanomètre :	379
Cl − E,	»	310,2
− Cl − E,	»	221,4
− Cl + E,	»	289,8

On en déduit :

$$2\,(Cl + E) = 379 - 221{,}4 = 157{,}6$$
$$2\,(Cl - E) = 310{,}2 - 289{,}8 = 20{,}4$$

d'où

$$4\,E = 137{,}2 \qquad 4\,Cl = 178,$$
$$\frac{E}{Cl} = 0{,}77$$

A la température de 19°, Cl = 1,4298 volt ; donc E = 1,4298 × 0,77 = 1,100946 volt.

(1) VOGEL, Ritterstrasse 39, Berlin.

(2) KÖNIG, Dufourstrasse, 15, Leipzig.

(3) EDM. VAN AUBEL. *La Lumière Electrique*, t. LIII, p. 36, 7 juillet 1894.

Digitized by Google

2° Comparaison de ε avec η.

L'une des soudures est dans la glace fondante, l'autre dans l'étuve à 78°,2.

$\varepsilon + \eta$,	lecture au galvanomètre :	150,6
$\varepsilon - \eta$,	»	388,6
$-\varepsilon - \eta$,	»	452,3
$-\varepsilon + \eta$.	»	211,8

$$2(\varepsilon + \eta) = 302,3$$
$$2(\varepsilon - \eta) = 176,8$$

ou

$$4\varepsilon = 479,1 \qquad 4\eta = 125,5$$
$$\frac{\varepsilon}{\eta} = 3,817 \text{ avec } \eta = \frac{10}{10000} E = 0,00110004$$
$$\varepsilon = 4202,28 \text{ microvolts.}$$

ε_1 force électromotrice pour 1°C. = 53,73 microvolts.

RÉSULTATS. — Nous avons cherché à représenter les résultats des expériences par une formule parabolique :

$$\varepsilon = a(T - t) + b(T - t)^2.$$

Les constantes *a* et *b* ont été calculées par la méthode des moindres carrés.

Couple fer-constantan.

$$a = 46,74$$
$$b = 0,079$$

$t = 0$

T	Nombre d'expériences	ε observé	ε calcul'é	Différences	ε_1
14,01	5	712,03	671,80	+ 40,23	50,69
21	5	1085,92	1016,38	+ 69,54	51,70
32,6	5	1683,09	1607,68	+ 75,41	51,62
46,95	5	2466,83	2512,65	— 45,82	52,52
52,81	3	2801,21	2688,66	+ 112,55	53,03
78,13	5	4200,88	4134,03	+ 66,85	53,76
98,9	6	5327,49	5395,30	— 67,81	53,86

Couple aluminium-constantan.

$$a = 36,69$$
$$b = 0,053$$

$t = 0$

T	Nombre d'expériences	ε observé	ε calculé	Différences	ε_1
19,8	5	749,24	747,23	+ 2,01	37,83
29,98	5	1149,96	1147,66	+ 2,30	38,32
41,38	5	1610,39	1609,06	+ 1,33	38,87
50,5	5	1990,89	1988,00	+ 2,89	39,10
78,71	5	3209,00	3216,12	— 7,12	40,76
99,21	6	4165,89	4161,56	+ 4,33	41,98

Couple constantan-manganine

$$a = 39,56$$
$$b = 0,036$$

$t = 0$

T	Nombre d'expériences	ε observé	ε calculé	Différences	ε_1
18,9	5	749,38	760,54	— 11,16	39,64
31,37	6	1266,40	1276,49	— 10,09	40,35
44,11	5	1807,07	1814,68	— 7,61	40,96
59,94	5	2508,13	2500,82	+ 7,31	41,84
78,55	5	3344,35	3329,27	+ 15,08	42,57
98,8	3	4257,21	4259,93	— 2,72	43,08

Les courbes (fig. 4) représentent la variation de la force électromotrice avec la différence des températures des soudures pour les

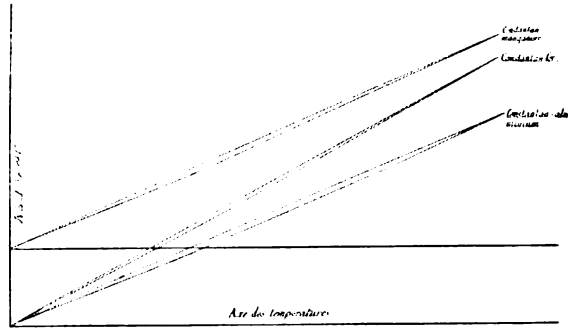


Fig. 4. — Courbes représentatives de la variation de la force électromotrice avec la différence de température des soudures.

couples fer-constantan, constantan-manganine et constantan-aluminium. Un millimètre en abscisse représente 0,5 degré et un millimètre en ordonnée 50 microvolts.

Remarquons que le couple constantan-manganine est formé de deux métaux dont la résistance électrique ne varie guère avec la température.

CONCLUSIONS. — 1. Les 3 courbes représentent une convexité vers l'axe des abscisses.

Pour les couples aluminium-constantan et constantan-manganine, la formule

$$\varepsilon = a(T - t) + b(T - t)^2,$$

représente assez bien les résultats des expériences.

2. Pour le couple fer-constantan, la courbe des forces électromotrices se rapproche beau-

Digitized by Google

coup d'une ligne droite. *Entre certains intervalles de température*, la courbe peut être considérée comme une droite. Cette observation trouve son application dans plusieurs recherches.

Suivant M. Kleiner, la courbe des forces électromotrices serait presque une droite jusqu'à 360°.

3. La force électromotrice du couple constantan-fer est :

D'après Klemencic et Czermak :		51 microvolts par degré.
»	V. Fuchs :	54,2 microvolts par degré entre 18° et 98,9° et 56 microvolts par degré entre 16° et 206,4°.
»	A. Kleiner :	58 microvolts par degré entre la température de la chambre et 360°.
»	van Aubel et Paillot :	53,86 microvolts par degré entre 0° et 98,9°.

4. Le couple fer-constantan doit être préféré aux autres couples, quand il s'agit de mesurer la température en un point et qu'une grande sensibilité est nécessaire. Les métaux qui forment cet élément peuvent, en effet, être obtenus en fils très fins.

Le fait que la courbe des forces électromotrices est presque une droite aux températures élevées a son importance, si l'on considère la grande inaltérabilité du constantan sous tous les rapports et surtout à haute température.

5. L'écart entre la courbe des forces électromotrices et la ligne droite qui joint les extrémités de la courbe est d'autant plus considérable que la force électromotrice du couple est plus faible.

Sur la conductibilité calorifique et la température des gaz lumineux dans un tube de Geissler, par Warburg (1).

On n'a pas encore d'évaluations quelque peu précises de la température que prend un gaz illuminé par la décharge. M. E. Wiedemann a déduit de mesures calorimétriques une température de 80 000° (2); Hittorf avait trouvé au contraire qu'à la température du rouge blanc toute lueur disparaît. M. Warburg s'est proposé de déduire des mesures de M. Herz, par l'application des lois de la conductibilité, la répartition des températures dans les tubes.

Le calcul est basé sur l'hypothèse que toute l'énergie électrique se transforme en chaleur, là où elle est dépensée; cette hypothèse paraît plausible, quand on l'applique à la partie moyenne d'une région où l'éclat du gaz est continu. Une partie de cette énergie est rayonnée, mais d'après les recherches d'Angström (1892) sur l'azote et l'hydrogène, cette fraction ne dépasserait pas 4 p. 100 de la totalité, et on peut la négliger.

La quantité q de chaleur, en petites calories, versée pendant une seconde dans un centimètre cube est, en désignant par v la variation de potentiel par unité de longueur, par i l'intensité du courant, supposée répartie uniformément dans toute la section de rayon R :

$$q = 0{,}237\,\frac{vi}{\pi R^2};$$

partant de cette formule, M. Warburg intègre d'abord les équations de la chaleur dans le cas d'une répartition symétrique autour de l'axe en admettant que le coefficient de conductibilité thermique du gaz soit constant; il indique ensuite les développements en série qu'il faut utiliser pour tenir compte de la variation linéaire de ce coefficient avec la température. La valeur du coefficient k donnée par Winkelmann (1) est :

$$\kappa = 0{,}0000555\left(1 + 0{,}00190\,\Theta\right)\frac{g}{\text{cm. sec}}\ \text{(Azote ou Air)};$$

$$k = 0{,}000383\left(1 + 0{,}00175\,\Theta\right)\frac{g}{\text{cm. sec}}\ \text{(Hydrogène)};$$

Θ désignant la température centigrade. En prenant pour le verre le nombre $k' = 0{,}00163$, donné par Meyer (2), M. Warburg trouve que,

---

(1) *Wied. Ann.*, t. LIV, p. 265.

(2) E. Wiedemann. — (*Wied. Ann.*, VI, p. 298, 1879). Ce nombre n'a rien d'absolu; il se rapporte à un tube très étroit; en s'appuyant sur le fait que les élévations de température doivent être en raison inverse de la section du tube, M. E. Wiedemann trouve, pour un tube de 30 mm. de diamètre, des excès au-dessus de la température ambiante, compris entre 60 et 70°.

(1) Winkelmann. — (*Wied. Ann.*, XLIV, p. 456, 1891).

(2) *Wied. Ann.*, XXXIV, p. 602, 1888.

Digitized by Google

pour une température extérieure constante de 18°, la température au centre du tube serait, pour les valeurs les plus élevées de l'intensité de la pression (0,0032 ampère et 8 mm.), de 132° au-dessus de la température ambiante. Cette différence descend à 21°, pour une pression de 2 mm. et une intensité de 0,0012 ampère. La chute de température dans l'épaisseur du verre est toujours très faible (moins de 1,5°).

Il est donc prouvé que, conformément à l'opinion de Hittorf et de M. E. Wiedemann, le gaz est *luminescent*, ou, suivant le terme introduit, par M. Warburg, *allactinique*, par opposition aux corps thermactiniques, qui obéissent à la loi de Kirchhoff. Il en résulte en particulier que l'accroissement d'éclat, qui suit une augmentation d'intensité du courant, est une conséquence directe de cette augmentation et non une conséquente indirecte de l'élévation de température correspondante. M. Herz l'a démontré par des expériences spéciales : Deux tubes de même diamètre sont placés en série dans le circuit ; quand on porte à 107° l'eau du réservoir dans lequel est contenu l'un des deux, on ne produit aucune différence d'éclat ; au contraire, on augmente notablement l'intensité de la lumière en faisant passer le courant de 0,00071 ampère à 0,00234 ampère, ce qui, d'après la théorie, n'élèverait la température du gaz dans l'axe du tube que de 18° et la température moyenne de 9°.

M. Warburg soumet au calcul les conséquences du résultat, énoncé par Hittorf (1), que le gradient est indépendant de l'intensité du courant, lorsque la densité du gaz reste constante ; la variation calculée de v avec i est de l'ordre de grandeur de celle que l'on observe, mais celle de v avec p est très notable, contrairement aux résultats de l'expérience.

Le mémoire se termine par l'étude de l'état variable ; l'état stationnaire est établi à 4 p. 100 près, au bout d'une fraction de seconde ; cette durée s'abaisse encore avec la pression et le diamètre des tubes.

C. R.

(1) HITTORF. *Wied. Ann.*, XX, p. 739, 1883.

BIBLIOGRAPHIE

L'électro-aimant. Sa construction. Ses applications et l'électro-mécanique, par SILVANUS P. THOMPSON. Traduction française par E. BOISTEL (Paris, *J. Fritsch*, éditeur, 1895. Prix, 10 francs).

L'étude expérimentale du magnétisme et les vues théoriques sur lesquelles elle repose se sont profondément modifiées depuis que l'électro-aimant a passé des mains du physicien entre les mains de l'ingénieur.

L'assimilation du circuit magnétique au circuit électrique, qui est la base de toutes ces modifications, a rapidement pénétré dans les masses, bien que les ouvrages classiques la passent sous silence. Les termes qui s'y rapportent, tels que la résistance magnétique, la force magnéto-motrice, sont d'un usage courant, mais à vrai dire, peu de personnes connaissent réellement ces théories nouvelles ; aucun ouvrage ne leur ayant été consacré, il fallait, en effet, pour les étudier, compulser les mémoires originaux épars dans les revues spéciales. C'est une tâche toujours longue et de laquelle on retire rarement tous les avantages qu'on en attend, par suite de l'absence de cohésion qui existe entre des articles écrits dans des buts divers par différents auteurs. L'ouvrage de M. Silvanus P. Thompson comble donc une lacune regrettable et est appelé à rendre de réels services ; comme ses frères aînés, il forme une véritable encyclopédie « historique, théorique et industrielle » sur le sujet indiqué par son titre.

Je ne parlerai pas de la partie historique ; comme beaucoup de ses compatriotes, l'auteur fait une histoire anglicanisée dont la partialité étonne de la part d'un homme de sa valeur.

Quant à la partie théorique, elle est franchement bonne. Après avoir donné quelques généralités sur les électro-aimants et les unités magnétiques, l'auteur étudie dans un chapitre spécial les propriétés magnétiques du fer, la

Digitized by Google

perméabilité et ses variations, l'hystérésis. Il expose ensuite le principe du circuit magnétique et en fait l'application à l'étude de la force portante des électro-aimants, et de l'attraction d'une armature à distance. Les règles pour l'enroulement du fil des bobines et l'étude de la construction d'électro-aimants devant satisfaire à des conditions spéciales, soit comme rapidité d'action, force portante maxima, électro-aimants à courants alternatifs, etc., complètent cette partie de l'ouvrage qui en est la partie essentielle et suffit pour en assurer le succès.

La description des mécanismes principaux qui empruntent le secours d'un électro-aimant forme la partie industrielle. L'auteur a su se borner à ne décrire que des appareils types, nécessitant l'emploi de dispositifs mécaniques spéciaux ou représentant une application particulière de l'électro-aimant. Ces descriptions sont nécessairement conçues en termes généraux et ne servent pour ainsi dire que d'introduction aux ouvrages spéciaux consacrés aux différentes applications de l'électricité. Un chapitre pourtant à signaler. C'est celui qui traite de l'emploi de l'électro-aimant en chirurgie et à la rédaction duquel le frère de l'auteur, savant spécialiste, n'a pas dû être étranger.

Enfin, un chapitre spécial, consacré aux aimants permanents, complète cet ouvrage d'une façon très heureuse.

Le traducteur a ajouté en appendice quelques notes intéressantes. Pour tous ceux qui connaissent le texte anglais, son œuvre se voit à chaque page ; il a modifié bien des passages pour en rendre la lecture plus facile au public français, et s'est astreint à exprimer toutes les grandeurs en unités C. G. S., en adoptant les notations proposées par le Congrès de Chicago, en 1893. Cela donne à l'ensemble de l'ouvrage une cohésion malheureusement trop rare dans les ouvrages scientifiques, et facilitera beaucoup l'application des formules. Ce travail ingrat et anonyme du traducteur est des plus importants et donne à l'édition française la saveur d'un livre original.

G. PELLISSIER.

OUVRAGES REÇUS

Les fonctions elliptiques et leurs applications, par Alfred-George GREENHILL, traduit de l'anglais par J. GRIESS, avec une préface de M.-P. APPELL. Un vol. in-8° de XVIII-575 pages ; 18 francs. *G. Carré*, éditeur, 1895.

Capillarité. Leçons professées à la Sorbonne par H. POINCARÉ, membre de l'Institut, rédigées par J. BLONDIN, agrégé de l'Université. Un vol. gr. in-8° de 190 pages, 5 francs. *G. Carré*, éditeur, 1895.

Cours élémentaire d'électricité. Lois expérimentales et principes généraux, introduction à l'électrotechnique. — Leçons professées à l'Institut industriel du nord de la France, par Bernard BRUNHES, maître de conférences à la Faculté des sciences de Lille, un vol. in-8° de 265 pages. — *Gauthiers-Villars et fils*, éditeurs, 1895.

Elementary Lessons in Electricity and Magnetism, par SILVANUS P. THOMPSON. Un vol. in-8° de 622 pages ; *Marmillan and C°* éditeurs, Londres, nouvelle édition, 1895.

CHRONIQUE

Conditions limites de la transmission télégraphique. — La Compagnie télégraphique Western Union a établi récemment entre New-York et Chicago une nouvelle ligne télégraphique en cuivre d'environ 3,5 mm. de diamètre, pesant 28,4 kg. au kilomètre. On avait espéré transmettre en quadruple sur cette ligne longue de 1 397 km. et de 2700 ohms de résistance. Or, l'*Elektrotechnische Zeitschrift* nous apprend que les expériences n'ont pas eu de résultat satisfaisant ; elles ont, au contraire, indiqué une limite supérieure, qui serait donnée par la loi de Preece appliquée à des circuits de ce genre. Car, quoique l'intensité du courant émis de Chicago ait été à New-York dans la partie neutre du système

Digitized by Google

quadruplex de 57 milliampères (soit environ 10 milliampères de plus que d'ordinaire), le relais neutre ne pouvait fonctionner d'une façon satisfaisante quand la partie polarisée du système était actionnée par Chicago.

L'effet de « l'intervalle à courant nul » pendant l'inversion des communications à la pile éloignée se manifestait à un tel point, par suite de la grande capacité électrostatique de la ligne, que le fonctionnement du relais neutre était très difficile; car l'armature de ce relais tombait pendant l'inversion du courant, ce qui ne devrait pas se produire. Il s'ensuit que, malgré la faible résistance de la ligne, la retardation du courant due à la capacité ne permet pas d'aimanter le relais après chaque interruption avec assez de rapidité pour éviter l'arrachement de l'armature.

Comme les communications directes sur cette longue ligne étaient impossibles, on a intercalé à Pittsburg, c'est-à-dire à peu près à mi-chemin entre New-York et Chicago, un translateur qui a fait disparaître les difficultés signalées. Les deux côtés du système quadruplex fonctionnent maintenant sûrement, quoique le courant dans la partie neutre ne soit que de 41 milliampères.

L'idée de travailler en quadruplex sur d'aussi longues lignes a donc été abandonnée, et la transmission entre New-York et Chicago se fait maintenant soit directement en duplex, soit en quadruplex avec translation à Pittsburg.

Les fils électriques et la foudre. — Certaines statistiques semblaient prouver que les dégâts dus à la foudre allaient en augmentant à mesure que se multipliaient, dans les villes, les installations électriques.

Emue sans doute par les progrès de cette opinion, qui est assez généralement admise, la Direction des télégraphes allemands a fait une enquête sur l'influence exercée par les réseaux téléphoniques sur l'électricité atmosphérique; et cette enquête, contrairement à l'opinion courante, aurait montré que les réseaux téléphoniques, loin d'augmenter les dangers de la foudre, tendraient plutôt à les diminuer.

Ainsi les relevés faits pour 340 villes pourvues d'un réseau téléphonique d'une part, et d'autre part pour 560 villes non pourvues d'un réseau de ce genre, établiraient que les dommages causés par la foudre dans ces deux catégories sont dans le rapport de 1 à 4;6. De plus, la moyenne des coups de foudre par heure d'orage serait de 5 pour les villes sans téléphone et de 3 seulement pour les villes pourvues d'un réseau téléphonique.

Sans contester le moins du monde les chiffres, nous croyons, pour notre part, que les différences observées ne sont pas forcément attribuables à l'existence ou à la non-existence de réseaux de fils dans les villes. On ne peut nier, toutefois, que les résultats d'une enquête faite sur plusieurs centaines de cas et qui sera sans doute continuée dans divers pays, soient intéressants à enregistrer.

Procédé de soudure et de fusion électrique des métaux. — Un ingénieur russe, M. Nicolaï Slavianoff, a imaginé un procédé de fusion électrique des métaux qui a beaucoup d'analogie avec celui de Benardos et peut lui être substitué avec avantage lorsqu'il s'agit de la réparation de pièces métalliques, par exemple pour boucher une crique, restaurer une partie écornée, etc. Voici, d'après l'*Electricien*, comment on procède avec ce système : l'objet à travailler est relié à l'un des pôles de la source de l'électricité, la barre de métal qui doit servir à la réparation à l'autre pôle. On rapproche les deux électrodes de façon à faire jaillir l'arc voltaïque. La barre de métal ne tarde pas à fondre, et l'on s'arrange de façon à faire tomber les gouttelettes qui s'en détachent sur l'endroit à boucher ou à réparer. Il faut avoir soin, naturellement, de rapprocher constamment les électrodes, au fur et à mesure de la fusion de la barre, de manière à obtenir un arc ininterrompu.

Nouvelles plaques d'accumulateur. — Une maison allemande prépare ses plaques d'accumulateurs avec une pâte de glycérate de plomb. La formation a lieu par voie électrolytique dans un bain de permanganate de potasse ou de soude acidulé à l'acide sulfurique. Dans ce procédé il paraît se former une combinaison de peroxyde de plomb avec du peroxyde de manganèse avec oxydation simultanée de la glycérine par la réaction suivante :

$$C^3H^8O^3 + 4KMnO^4 + 2H^2SO^4 = 2K^2SO^4 + H^2C^2O^4 + CO^2 + 4MnO^2 + H^2O.$$

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie I. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Digitized by Google

Tome III. Samedi 1er Juin 1895. 2e Année. — N° 22.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

ÉTUDE

THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTALE

D'UNE DYNAMO GÉNÉRATRICE BIPOLAIRE

A COURANTS DIPHASÉS

PRÉDÉTERMINATION DE LA CARACTÉRISTIQUE EXTERNE ET DE LA VARIATION DES PERTES DE FLUX

L'objet de cette étude est l'application des principes connus de la théorie des dynamos à la recherche d'une méthode de calcul, suffisamment exacte et générale, permettant de déterminer avant tout essai ou toute construction, la caractéristique externe d'une dynamo génératrice, les angles de calage pour différents débits et la variation des pertes de flux. Les résultats des calculs, établis d'après nos vues, seront comparés à ceux auxquels mène le mode bien connu d'application de la théorie d'Hopkinson, combinée avec l'hypothèse de Swinburne; et, mis ensuite en regard des données expérimentales levées sur une génératrice Brown bipolaire, à courants diphasés, du laboratoire d'électricité de l'Ecole spéciale d'industrie et des mines du Hainaut.

DESCRIPTION DE LA MACHINE

Les figures 1 et 2 représentent la dynamo en coupes longitudinale et transversale. *a* est l'anneau feuilleté en tôle; *p* sont les pièces polaires; *c*, les culasses en fonte des électros; *i* les noyaux en fer doux des inducteurs. Les bobines inductrices sont recouvertes chacune de 972 spires de fil rond de 2,7 mm. de diamètre et le circuit magnétique possède les dimensions indiquées à la figure 2. L'enroulement alternatif de l'induit est constitué par quatre bobines ou sections, correspondant aux quatre quadrants *x* et *y* (fig. 2 et 3). Deux sections opposées sont reliées en tension, et les circuits ainsi formés ont leurs extrémités 1 et 1', 2 et 2' reliées par les fils *m* aux bagues *s* (fig. 1). On obtient bien ainsi des courants alternatifs dont les phases diffèrent de $\frac{\pi}{2}$ ou 90°.

Chaque paire de bobines d'une phase compte 100 tours de fil rectangulaire de $2 \times 4{,}5$ mm.

La dynamo a été construite par M. Brown pour marcher à auto-excitation ou à excitation indépendante. L'enroulement excitateur comprend, entre des groupes de 5 spires *m* de l'enroulement alternatif, des sections de 2 spires au nombre de quarante, avec autant de connexions descendant à autant de lames de collecteur, *r*. Il y a donc, pour l'auto-excitation, 80 spires de fil de 2 mm. de diamètre. Quant aux bobines *b* des électros, elles sont montées en série sur les balais du circuit auto-excitateur de l'induit.

Digitized by Google

APERÇU DE LA MARCHE SUIVIE DANS CETTE ÉTUDE

On connaît la méthode ordinaire de calcul de la caractéristique d'une dynamo, celle-ci étant construite ou donnée par ses dimensions et ses enroulements.

Supposons, pour plus de facilité d'exposition, que la machine est à excitation indépendante.

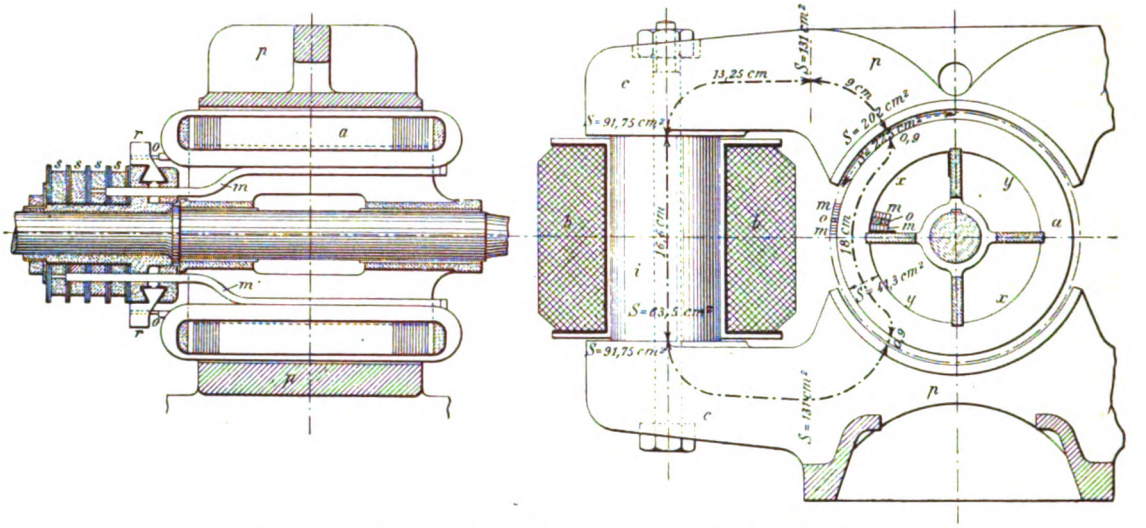


Fig. 1 et 2. — Coupes longitudinale et transversale de la dynamo.

Pour déterminer le voltage à circuit induit ouvert, on trace la courbe d'Hopkinson, du flux en fonction des f. m. m., en tenant compte de coefficients relatifs aux pertes de flux, et on

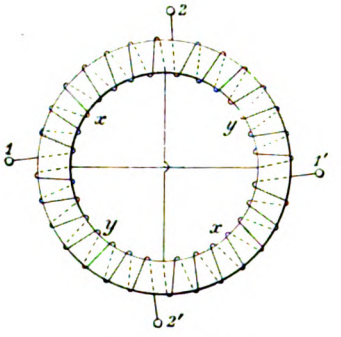


Fig. 3. — Disposition des bobines de l'induit pour courants alternatifs.

porte en abscisse la f. m. m. $4\pi ni$ des inducteurs. L'ordonnée correspondante fournit le flux utile, qui permet le calcul de la f. é. m. demandée.

Pour obtenir le voltage en marche normale, l'induit débitant, on se donne un angle de calage approximatif, on calcule la f.m.m. antagoniste des spires de l'induit comprises dans le double de cet angle et on la déduit de la f. m. m. des inducteurs. La différence peut encore être portée en abscisse sur le diagramme de la courbe des flux pour donner le flux utile correspondant et aussi, après une opération toute simple, la f. é. m. totale au débit choisi.

Après ce soi-disant flux utile, on peut obtenir le flux transversal, flux absolument fictif, et même le composer avec le premier. Dans notre exemple, on arrive à ce résultat étonnant que le flux résultant serait plus fort que le flux à circuit ouvert, parce que le flux transversal est exagéré, et que l'angle d'inclinaison du même flux (angle de calage) serait également erroné.

En dehors de ces différences, les grandes causes d'erreurs de cette méthode sont :

1° Le coefficient de pertes de flux, ou mieux de flux total, v, n'est pas constant, mais bien fort variable dans les dynamos, surtout dans celles dont l'excitation reste constante ou

Digitized by Google

augmente avec le débit. C'est ainsi que nous avons trouvé un coefficient v égal à 5,5, pour certain débit de notre dynamo à excitation indépendante. Cette variabilité des pertes de flux amène une variabilité correspondante de la courbe d'Hopkinson, que l'on ne peut négliger sous peine d'erreurs parfois considérables;

2° L'angle de calage φ ou d'avance du flux résultant, est également variable et indéterminé.

Nous avons voulu établir ces valeurs de v et de φ et en tenir compte dans notre méthode. A circuit ouvert, nous opérons de la même façon que ci-dessus à cette différence près que nous traçons une courbe des f. m. m. effectives, $\Sigma\Phi r$, au lieu de la courbe des flux, en portant ces f. m. m. en ordonnées et les flux en abscisses. Nous tenons compte aussi, dans l'établissement de la courbe, de coefficients v calculés par le procédé de Forbes et corrigés par les résultats des expériences de laboratoire ou déterminés directement sur la machine par la méthode balistique, à circuit induit ouvert, avec excitation indépendante.

Nous supposons alors, qu'en marche de la dynamo, toutes les pertes de flux sont concentrées aux pièces polaires, et nous divisons les f. m. m. en deux sommes, la somme des f. m. m. effectives de réluctance pour l'armature et l'entrefer, et la somme des f. m, m. des pièces polaires, des culasses, des inducteurs. Ces deux sommes nous permettent de tracer deux courbes correspondantes qui doivent servir dans la suite.

Par un calcul que nous croyons nouveau, nous déterminons ensuite, pour différents débits à l'induit, les f. m. m. appliquées aux pièces polaires pour faire circuler le flux utile dans l'armature et pour vaincre la f. m. m. de l'enroulement. Cette f. m. m. permet d'une part la détermination, par différence, de la f. m. m. employée à faire passer le flux dans les inducteurs, les culasses et les pièces polaires, d'autre part, le calcul du flux perdu en se basant sur la connaissance de la réluctance des dérivations de pertes que nous établissons également. Ici se place un calcul par approximations successives qu'on lira plus loin.

Le calcul du flux perdu permet la détermination des coefficients v et notre façon d'évaluer la réaction d'induit établit les angles de calage φ. Ceci dit, nous commençons la partie essentielle de notre travail en faisant l'application à notre génératrice à courants diphasés.

RÉLUCTANCES DU CIRCUIT MAGNÉTIQUE FORCES MAGNÉTOMOTRICES EFFECTIVES PRODUISANT LES FLUX

Nous établissons ci-dessous les courbes relatives au circuit magnétique qui nous sont nécessaires pour l'exécution de nos calculs.

Φ représente les flux; $\mathfrak{B}_p$, $\mathfrak{B}_c$, $\mathfrak{B}_i$, $\mathfrak{B}_a$ les inductions spécifiques aux pièces polaires, aux culasses, aux inducteurs et à l'anneau; μ_p, μ_c, μ_i, μ_a les perméabilités reprises sur des courbes moyennes tracées d'après les résultats des expériences d'Hopkinson, de Rowland et de Bidwel; r_p, r_c, r_i, r_a, r_e les réluctances.

Appelons Φ_i le flux dans les inducteurs.

Nous supposerons que : 1° Le flux Φ_c dans les culasses est égal à $\frac{\Phi_i}{1,3}$; 2° le flux Φ_p dans les pièces polaires est $\frac{\Phi_i}{1,55}$. Ces chiffres (1,3 et 1,55) sont pris par comparaison des résultats obtenus sur des machines du type Manchester en fonction. Ils ont du reste été vérifiés plus tard pour la dynamo dont il s'agit.

Φ_u est le flux utile, c'est-à-dire le flux dans l'armature.

Les réluctances sont :

entrefer $\quad \frac{2l_e}{2s_e} = \frac{1,8}{2 \times 225} = 0,004 = 4 \times 10^{-3}$;

pièces polaires $\quad \frac{2l_p}{2\mu_p s_p} = \frac{18}{\mu_p \times 333} = \frac{0,0547}{\mu_p}$;

culasses $\quad \frac{2l_c}{\mu_c 2s_c} = \frac{26,5}{\mu_c \times 222,8} = \frac{0,1104}{\mu_c}$;

inducteurs $\quad \frac{l_i}{\mu_i 2s_i} = \frac{16,6}{\mu_i \times 127} = \frac{0,131}{\mu_i}$;

induit $\quad \frac{l_a}{\mu_a 2s_a} = \frac{18}{\mu_a 2 \times 41,3} = \frac{0,218}{\mu_a}$.

Digitized by Google

Φ_u	B_a	μ_a	r_a	r_e	$\Phi_u (r_a + r_e)$	OBSERVATIONS
»	»	520	$0{,}42 \times 10^{-3}$	4×10^{-3}	»	Les calculs sont exécutés à la règle,
100000	1210	1100	0,198	4	$0{,}42 \times 10^{3}$	
200000	2420	1675	0,13	4	0,827	
300000	3630	2100	0,104	4	1,28	
600000	7260	2300	0,095	4	2,45	
1000000	12100	1330	0,164	4	4,164	
1100000	13360	1022	0,43	4	4,63	
1200000	15600	840	0,269	4	5,12	
1300000	15800	430	0,51	4	5,86	

Φ_i	Φ_c	Φ_p	B_i	B_c	B_p	μ_i	μ_c	μ_p	r_i	r_c	r_p	$\Phi_i r_i$	$\Phi_c r_c$	$\Phi_p r_p$	$\Sigma \Phi r_{icp}$
									$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-3}$	$\times 10^{3}$	$\times 10^{3}$	$\times 10^{3}$	$\times 10^{3}$
1500000	1153000	967000	11820	5170	2900	1400	460	820	0,0935	0,253	0,067	0,14	0,293	0,0647	0,498
1800000	1388000	1160000	14180	6210	3430	820	255	860	0,160	0,456	0,0635	0,288	0,63	0,0733	0,991
2000000	1538000	1290000	15740	6900	3880	440	175	820	0,293	0,665	0,067	0,594	1,01	0,0865	1,69
2200000	1690000	1420000	17300	7600	4265	162	122	700	0,81	0,955	0,078	1,78	1,61	0,111	3,50
2300000	1770000	1484000	18100	7950	4460	93	100	650	1,41	1,164	0,084	3,25	2,06	0,1245	5,43
2400000	1845000	1546000	18900	8270	4630	60	90	600	2,185	1,297	0,0912	5,23	2,39	0,141	7,76
2500000	1924000	1610000	19700	8640	4850	37	80	545	3,55	1,452	0,105	8,85	2,80	0,170	11,82
2600000	1998000	1672000	20450	8760	5020	28	68	480	4,68	1,71	0,114	12,16	3,41	0,191	15,76

Les deux tableaux ci-dessus nous donnent :

$$\Phi_u (r_a + r_e) \text{ et } \Phi_i r_i + \Phi_c r_c + \Phi_p r_p \text{ ou } \Sigma \Phi r_{icp}.$$

Nous traduisons ces résultats graphiquement au moyen des courbes A et B de la

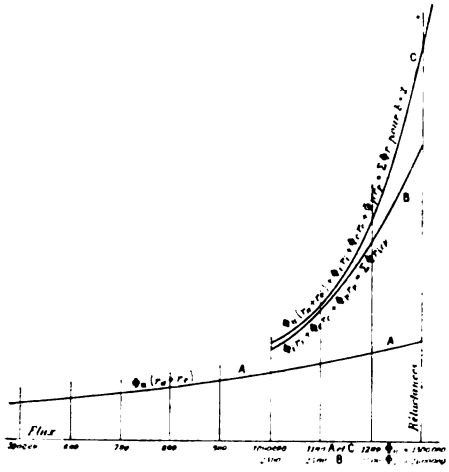


Fig. 4. — Diagramme des forces magnétomotrices effectives.

figure 4. Nous y traçons aussi une courbe des valeurs de

$$\Phi_u (r_a + r_e) + \Phi_i r_i + \Phi_c r_c + \Phi_p r_p$$

ou de $\Sigma \Phi r$ dans l'hypothèse où $\frac{\Phi_i}{\Phi_u} = 2$ et pour des flux totaux variant de 2 000 000 à 2 600 000. Ce chiffre 2 a aussi été vérifié après les calculs par la méthode balistique.

DÉTERMINATION DE LA CARACTÉRISTIQUE EXTERNE, LA DYNAMO ÉTANT EXCITÉE PAR UNE SOURCE INDÉPENDANTE.

Examinons le cas où l'excitation est indépendante, les deux électros en série et parcourus par un courant continu de 15 ampères.

Voltage à circuit ouvert pour la vitesse de 2 000 tours par minute. — Nous appliquons la formule :

$$4\pi n I = \Phi_u (r_a + r_e) + \Phi_i r_i + \Phi_c r_c + \Phi_p r_p = \Sigma \Phi r \quad (1)$$

$4\pi n I$ est la f. m. m. d'une seule des bobines inductrices; elles sont en effet montées en dérivation sur le flux de l'induit.

$$n = 972, \quad I = 1{,}5 \text{ C. G. S.}$$

La formule (1) devient ainsi :

$$18{,}3 \times 10^{3} = \Sigma \Phi r.$$

Sur la courbe C de la figure 4 des $\Sigma \Phi r$, obtenue en faisant $\frac{\Phi_i}{\Phi_u}$ ou v égal à 2, nous pouvons déterminer l'abscisse qui correspond à l'or-

Digitized by Google

donnée $18{,}3 \times 10^3$. Nous obtenons ainsi, sur des tracés semblables à A, B, C de la figure 4, mais à grande échelle,

$$\Phi_u = 1{,}258{,}000 \text{ C.G.S. et } \Phi_i = 2{,}516{,}000.$$

Si $\mathfrak{N}$ est le nombre de spires d'un des circuits induits, la variation de flux par tour de l'armature et par spire est $4\frac{\Phi_u}{2} = 2\Phi_u$ et

$$\mathcal{E}_{moy.} = 2\,\Phi_u \frac{1}{T}\,\mathfrak{N} = 2\Phi_u N \mathfrak{N}.$$

$\mathfrak{N} = 100$; $T = \frac{1}{33}$ seconde; $N = 33$ tours par seconde.

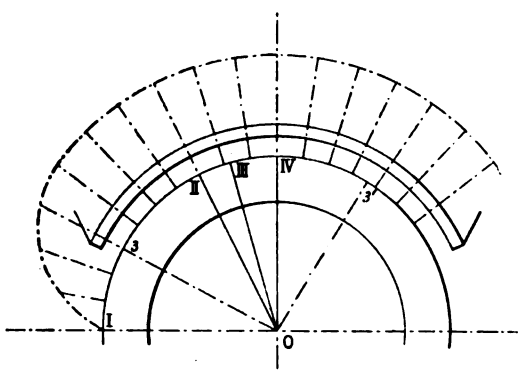


Fig. 5. — Courbe des valeurs du champ dans l'entrefer.

Si la f. é. m. suit la loi sinusoïdale :

$$\frac{\mathcal{E}_{moy.}}{\mathcal{E}_{eff.}} = 0{,}9 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}$$

$$\mathcal{E}_{eff.} = \frac{\pi 2\Phi_u N \mathfrak{N}}{2\sqrt{2}} = \frac{\pi}{\sqrt{2}}\Phi_u N \mathfrak{N} = 0{,}741 \times 10^4 \times \Phi_u.$$

En réalité, $\frac{\mathcal{E}_{moy.}}{\mathcal{E}_{eff.}}$ vaut plus que 0,9. Nous allons chercher à établir cette valeur pour le cas que nous examinons.

Forme de la courbe des f. é. m. induites. Rapport $\frac{\mathcal{E}_{moy.}}{\mathcal{E}_{eff.}}$. — Tous les expérimentateurs qui ont opéré avec des machines bipolaires savent que le champ magnétique dans l'entrefer est sensiblement constant vis-à-vis des pièces polaires; nous pouvons le représenter par la courbe de la figure 5 dont les rayons, à partir de la périphérie de l'induit, représentent le champ inducteur.

Si l'on examine sur la figure 5 les variations de flux produites dans les cadres induits, qui embrassent deux quadrants opposés, l'axe des quadrants étant figuré par un trait plein, on remarque que, de III à IV, la f. é. m. est absolument constante et maxima. En effet, pour III, le quadrant est en 303′ dans une région du champ invariable; pour IV il est dans une situation analogue.

De II à III il en est encore sensiblement ainsi. De I à II, la f. é. m. est représentée par une droite partant de l'origine et se raccordant par une courbe à la région II IV (voir

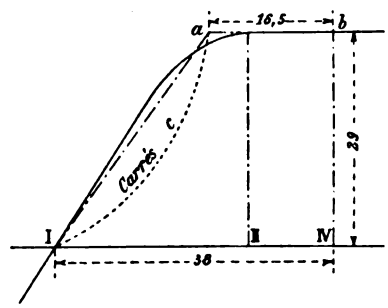


Fig. 6. — Courbe des forces électromotrices.

fig. 6). Il nous est facile, en remplaçant la courbe de la figure 6 par un trapèze, de déterminer approximativement le rapport $\frac{\mathcal{E}_{moy.}}{\mathcal{E}_{eff.}}$.

Nous indiquons les dimensions du trapèze sur la figure.

La courbe I*Ca*, convexe par rapport à l'axe I IV, est la courbe des carrés de la portion I*a*.

Ordonnée moyenne de l*ab* IV I

$$= \frac{\frac{21{,}5 \times 29}{2} + 16{,}5 \times 29}{38} = 20{,}8.$$

Ordonnée moyenne des carrés (I*Ca* étant parabolique)

$$= \frac{16{,}5 \times 29 + \frac{21{,}5 \times 29}{3}}{38} = 17{,}9.$$

$$\frac{\text{ordonnée moyenne}}{\text{ordonnée maxima}} = \frac{20{,}8}{29} = 0{,}72;$$

Carré de la moyenne des carrés des ordonnées $= \frac{17{,}9}{29} = 0{,}617.$

Racine carrée des carrés des ordonnées $= \sqrt{0{,}617} = 0{,}785.$

$$\frac{\text{ordonnée moyenne}}{\sqrt{(\text{ord.})^2\text{moy.}}} = \frac{0{,}72}{0{,}785} = 0{,}92.$$ C'est $\frac{\mathcal{E}_{moy.}}{\mathcal{E}_{eff.}}$.

Digitized by Google

Une division plus exacte, en triangle, trapèze et rectangle, de la courbe I*ab* IV donne 0,93 pour le rapport cherché (1).

Nous adoptons provisoirement 0,93 pour valeur de $\frac{\mathcal{E}_{moy.}}{\mathcal{E}_{eff.}}$.

$\mathcal{E}_{eff.}$ devient ainsi :

$$\mathcal{E}_{eff.} = \frac{2\Phi N \mathfrak{N}}{0,93} = 0,712.10^{4}.\Phi_{u}.$$

Or

$$\Phi_{u} = 1\,258\,000,$$

$$\mathcal{E}_{eff.} = 0,712 \times 10^{4} \times 1\,258\,000 = 89,8 \times 10^{6} = 89,8 \text{ volts.}$$

Nous avons trouvé plus tard, en expérimentant, 0,97 environ pour rapport $\frac{\mathcal{E}_{moy.}}{\mathcal{E}_{eff.}}$. Avec ce nombre on obtient :

$$\mathcal{E}_{eff.} = 0,687 \times 10^{4} \times 1,258 \times 10^{6} = 86,2 \text{ volts.} \quad (2)$$

Nous avons trouvé 86,5 volts à l'essai, sous l'excitation normale de 15 ampères.

D'ailleurs, de 86,2 à 89,8 volts, la différence est très faible et la pratique s'accommoderait parfaitement d'approximations semblables.

Voltage sous débit de 20 ampères maximum, 14,1 ampères efficaces. — Nous déterminerons le voltage sous le débit de 20 amp. en tenant compte de ce que la réaction d'induit, correspondant au courant actuel, refoule plus de flux dans l'air et incline le flux résultant d'un angle correspondant à l'angle de calage dans une machine à courant continu.

Pour arriver à la détermination du flux refoulé dans l'air, nous commencerons par calculer la réluctance des dérivations de pertes de flux à circuit ouvert. Le quotient de la f. m. m. aux pièces polaires par cette réluctance donnera le flux perdu.

(1) Nous avons été sur le point de supprimer de notre travail ces considérations sur la valeur de $\frac{\mathcal{E}_{moy.}}{\mathcal{E}_{eff.}}$. Nous les avons laissées pour montrer une fois de plus que l'on peut, dans bien des cas, introduire des corrections basées sur le simple raisonnement, sans expérience directe confirmative.

Réluctance des dérivations de perte de flux. — Déterminons donc la résistance moyenne des dérivations magnétiques à travers l'air. Appelons r_p cette résistance des pertes par l'air, r_u la résistance utile de l'entrefer et de l'armature $(r_a + r_e)$, Φ_p le flux perdu que nous supposerons toujours dérivé aux pièces polaires, Φ_i le flux total aux inducteurs.

Supposer que Φ_p est dérivé aux pôles, c'est admettre que la force contre-magnétomotrice de l'enroulement de l'induit concentre la plus grande partie des pertes à la périphérie de l'armature et aux pièces polaires. En réalité, les pertes augmentent un peu aux culasses par suite de l'augmentation, plus faible il est vrai, de la différence de potentiel magnétique entre elles. Appelons v le rapport $\frac{\Phi_i}{\Phi_u}$.

$$\frac{\Phi_i}{\Phi_u} = \frac{\text{conductibilité totale aux pièces polaires}}{\text{conductibilité de l'induit}}$$

$$= \frac{\frac{1}{\frac{r_u r_p}{r_u + r_p}}}{\frac{1}{r_u}} = \frac{(r_u + r_p) r_u}{r_u r_p} = \frac{r_u + r_p}{r_p}.$$

Donc,

$$v = \frac{r_u + r_p}{r_p}.$$

A circuit ouvert, supposons que $v = 2$;

$$\Phi_u r_u = \Phi_u (r_a + r_e) = 5,56 \times 10^{3},$$

d'après la figure 4, et pour $\Phi_u = 1.258,000$.

On trouve ainsi :

$$r_u = r_a + r_e = \frac{5,56 \times 10^{3}}{\Phi_u} = 4,42 \times 10^{-3} ;$$

$$\frac{r_u + r_p}{r_p} = \frac{4,42 \times 10^{-3} \times r_p}{r_p} = 2 \text{ et } r_p = 4,42 \times 10^{-3}.$$

Nous adopterons $4,42 \times 10^{-3}$ pour réluctance moyenne des dérivations par l'air.

Réaction d'induit. — Nous chercherons maintenant à déterminer, par la composition des f. m. m. existant à l'induit, la f. m. m. appliquée par les inducteurs aux pièces polaires

Digitized by Google

et nécessaire pour le calcul du flux perdu par la relation $\Phi_p = \frac{\mathcal{F}}{r_p}$.

Nous supposerons pour plus de simplicité, que les courants sont sinusoïdaux. La figure 7 donne le diagr. des f. m. m.. F ou $\Phi_u(r_a + r_e)$ est la f. m. m. effective absorbée par la réluctance de l'anneau et de l'entrefer. La f. m. m. effective est la résultante de la f. m. m. $\mathcal{F}$ établie par les

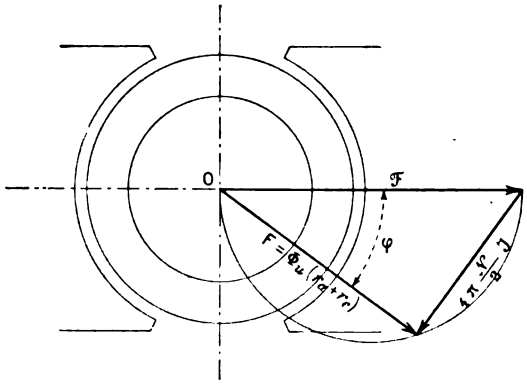


Fig. 7. — Triangle des forces magnétomotrices à l'induit.

électros inducteurs aux pièces polaires et égale à $4\pi nI$ moins la chute de potentiel magnétique jusqu'aux pôles, et de la f. m. m. produite par les courants induits. $\mathfrak{N}$ étant le nombre de fils périphériques par circuit induit (2 quadrants opposés de l'anneau) la f. m. m. des courants induits est $4\pi \frac{\mathfrak{N}}{2} \mathcal{J}$, $\mathcal{J}$ étant le maximum des courants alternatifs. Les choses se passent en effet comme si un seul des circuits réagissait avec son courant maximum supposé constant, le décalage des deux courants induits, l'un par rapport à l'autre, étant de $\frac{\pi}{2}$ ou d'un quart de période (application de la théorie du champ tournant dû à deux courants décalés de $\frac{\pi}{2}$).

La f.m.m. $\mathcal{F}$ due aux inducteurs est l'hypothénuse d'un triangle rectangle dont les côtés de l'angle droit sont :

$$\Phi_u(r_a + r_e) \text{ et } 4\pi \frac{N}{2} \mathcal{J} \text{ ou } 0{,}628 \times 10^3 \times \mathcal{J}$$

La f.c.m.m. du courant induit est en effet perpendiculaire à F, puisque les f.é.m. induites sont en retard de 90° sur le flux Φ_u résultant.

Nous pouvons donc écrire :

$$4\pi n I = \sqrt{\Phi_u^2 (r_a + r_e)^2 + (0{,}628 \times 10^3 \times \mathcal{J})^2} + \Phi_i r_i + \Phi_c r_c + \Phi_p r_p. \qquad (3)$$

Nous nous donnons $\mathcal{J}$, aussi, $0{,}628 \times 10^3 \times \mathcal{J}$ et $(0{,}628.10^3.\ \mathcal{J})^2$.

Pour les valeurs suivantes de $\mathcal{J}$ on trouve :

$\mathcal{J}$ =	20 A ou 2 C.G.S	40 A	60	80	100	120	140	
$0{,}628.10^3.\ \mathcal{J}$ =	$1{,}256 \times 10^3$	2,512	3,78	5,04	6,28	7,55	8.88	$\times 10^3$
$(0{,}628.10^3.\ \mathcal{J})^2$ =	$1{,}575 \times 10^6$	6,3	14,3	25,3	39.4	57	78.8	$\times 10^6$

D'autres valeurs entrant dans la relation (3) nous sont déjà connues :

$$4\pi n \mathcal{J} = 18{,}3 \times 10^3;$$
$$\Phi_u(r_a + r_e) \text{ et } \Phi_i r_i + \Phi_c r_c + \Phi_p r_p \text{ ou } \Sigma \Phi_{icp}$$

sont représentées figure 4, courbes A et B.

Voltage, décalage et perte de flux. — Pour $\mathcal{J} = 20$ nous avons, en appliquant la formule (3) :

$$18{,}3 \times 10^3 = \sqrt{\Phi_u^2 (r_a + r_e)^2 + 1{,}575.10^6} + \Sigma \Phi r_{icp} = \mathcal{F} + \Sigma \Phi r_{icp}. \qquad (4)$$

Nous devons opérer par tâtonnements pour déterminer Φ_u, car les flux inducteurs Φ_i et perdu Φ_p, et les perméabilités sont toutes inconnues.

Les tâtonnements consisteront en ceci :

Partant du flux utile à circuit ouvert, 1 258 000, on admettra certaine inclinaison vers l'axe des abscisses pour la courbe des flux utiles (voir fig. 8). On aura ainsi pour 20 ampères, un certain flux utile supposé. Ce flux utile donnera

$$\Phi_u^2 (r_a + r_e)^2,$$

donc aussi

$$\sqrt{\Phi_u^2 (r_a + r_e)^2 + 1{,}575.10^6}$$

Digitized by Google

ou $\mathfrak{F}.\frac{\mathfrak{F}}{r_p}$ sera le flux perdu correspondant à 20A. De l'équation (4) on tirera $\Sigma\Phi r_{icp} = 18{,}3 \times 10^3 - \mathfrak{F}$, et la courbe $\mathfrak{B}$ de la figure 4 donnera le flux Φ_i, correspondant à la valeur actuelle de $\Sigma\Phi r_{cip}$.

Si le flux que l'on s'est donné est convenable, il sera égal à $\Phi_i - \Phi_p$. Il sera trop faible si $\Phi_i - \Phi_p > \Phi_u$, et trop fort dans le cas contraire. Avec un peu d'habitude, ces tâtonnements sont rapides ; ils ne demandent que des calculs faciles et peu nombreux.

Une fois le deuxième point de la courbe des flux Φ_u obtenu, on la prolonge au pistolet ou autrement, d'après l'allure prévue, et on réduit de beaucoup la difficulté d'opération.

Essayons le tâtonnement pour 20A à l'induit. Soit $\Phi_u = 1\,200\,000$. Le diagr. A de la figure 4, à grande échelle, donne

$$F \text{ ou } \Phi_u(r_a + r_e) = 5{,}2 \times 10^3.$$

On obtient alors

$$\mathfrak{F} = \sqrt{F^2 + 1{,}575.10^6} = 5{,}34.10^3$$

$\mathfrak{F}$ étant la f.m.m. aux pièces polaires, le flux perdu est :

$$\Phi_p = \frac{\mathfrak{F}}{r_p} = \frac{5{,}34 \times 10}{4{,}42 \times 10^{-3}} = 1\,210\,000,$$

De l'équation (4) on déduit :

$$\Sigma\,\Phi r_{icp} = (18{,}3 - 5{,}34)\,10^3 = 12{,}96 \times 10^3,$$

et le diagr. B de la fig. 4 donne, pour

$$\Sigma\,\Phi r_{icp} = 12{,}96 \times 10^3., \qquad \Phi_i = 2\,520\,000.$$

Φ_u serait ainsi

$$\Phi_i - \Phi_p = 2\,520\,000 - 1\,210\,000 = 1\,320\,000.$$

C'est plus que 1 200 000. Ce dernier nombre est donc trop faible.

Soit,

$$\Phi_u = 1\,240\,00.$$

On trouve :

$$F = 5{,}46 \times 10^3;\ \mathfrak{F} = 5{,}61 \times 10^3;\ \Phi_{\mu} = 1\,270\,000;$$
$$\Sigma r_{icp} = 12{,}69 \times 10^3;\ \Phi_i = 2\,515\,000;\ \Phi_i - \Phi_p = 1\,245\,000.$$

Nous adopterons :

$$\Phi_u = 1\,242\,000,$$

$$\nu = \frac{\Phi_i}{\Phi_u} = \frac{2\,515\,000}{1\,242\,000} = 2{,}03\ ;$$

$$\text{tg}\varphi \text{ (fig. 7)} = \frac{4\pi\frac{\mathfrak{N}}{2}\mathfrak{I}}{\Phi_u(r_a + r_e)} = \frac{1{,}256 \times 10^3}{5{,}46 \times 10^3} = 0{,}231$$

et

$$\varphi = 13°.$$

D'après la relation (2),

$$\mathfrak{E}_{eff} = 0{,}687 \times 10^4 \times 1\,242\,000 = 85{,}2 \text{ volts.}$$

La résistance des circuits induits est 0.115 ohm à froid.

à 30°, $0{,}115 \times 1.118 = 0{,}129$ ohm.
$\mathfrak{R} \times \mathfrak{I}_{eff} = 14{,}1 \times 0{,}129 = 1{,}83$ volt.
$\mathfrak{E}_{eff}$ aux bornes $= 85{,}2 - 1{,}83 = 83{,}4$ volts.
$\mathfrak{I} = 20$ ampères. $\mathfrak{I}_{eff} = 14{,}1$ ampères.

Voltage sous débit de 40 ampères maximum, 28,3 efficaces. — Maintenant que l'on possède deux points de la courbe des flux utiles Φ_u (voir fig. 8), on prolonge cette courbe jusque l'ordonnée de 28,3 ampères et l'on a ainsi presque exactement le résultat que le tâtonnement fournira.

Cette courbe donne $\Phi_u = 1\,200\,000$.

Pour 1 200 000 :

$F = 5{,}2 \times 10^3$; $\mathfrak{F} = 5{,}77.10^3$; $\Phi_p = 1\,305\,000$;
$\Sigma\Phi r_{icp} = (18{,}3 - 5{,}77)\,10^3 = 12{,}53 \times 10^3$; $\Phi_i = 2\,513\,000$;
$\Phi_i - \Phi_p = 1\,208\,000$.

Adoptons :

$$\Phi_u = 1\,203\,000;$$

$$\nu = \frac{2\,513\,000}{1\,203\,000} = 2{,}09\ ;$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{2{,}513}{5{,}2} = 0{,}483\ ;\ \varphi = 25°47';$$

$\mathfrak{E}_{eff}$ totale $= 0{,}687 \times 10^4 \times 1.203{,}000 = 82{,}7$ volts ;
$\mathfrak{E}_{eff}$ aux bornes $= 82{,}7 - \mathfrak{R}\mathfrak{I}_{eff} = 79$ volts.

En continuant ainsi et en tenant compte de ce que la résistance électrique de l'induit va en augmentant avec le débit par suite de l'échauffement, on arrive aux résultats consignés dans le tableau suivant. La température maxima des fils de l'induit a été évaluée à 60° pour la comparaison avec les résultats du levé de la caractéristique externe.

Digitized by Google

$\mathfrak{I}$	$\mathfrak{I}_{eff.}$	Φ_i	Φ_p	Φ_u	$\mathcal{E}_{eff.}$ totale.	$\mathcal{R}\,\mathfrak{I}_{eff.}$	$\mathcal{E}_{eff.}$ aux bornes.	v	φ
0	0	2.516.000	1.258.000	1.258.000	86,2	0	86,2	2	0
20	14,14	2.515.000	1.273.000	1.242.000	85,2	1,8	83,4	2,03	13°
40	28,3	2.513.000	1.310.000	1.203.000	82,7	3,7	79,0	2,09	25°47′
60	42,5	2.506.000	1.383.000	1.123.000	77,1	5,5	71,6	2,23	38°15′
80	56,7	2.495.000	1.490.000	1.005.000	68,7	7,8	61,9	2,40	50°25′
100	70,8	2.485.000	1.638.000	847.000	58,1	10,0	48	2,93	61°37′
120	85,0	2.466.000	1.816.000	650.000	44,5	12,1	32,4	3,82	70°40′

Les derniers points, pour les hauts ampérages, ne peuvent évidemment être tout à fait exacts — il est vrai que ce sont les moins intéressants, à des débits exagérés — parce que les lignes de force dans l'entrefer, par suite du grand décalage φ, sont inclinées sur leur trajectoire ordinaire, principalement dans une moitié de l'entrefer environ.

Nous pouvons essayer une correction.

Supposons que, pour $\mathfrak{I} = 120$ ampères, la moitié des lignes de force dévient de l'angle $\varphi = 70°$; leur longueur devient

$$\frac{l_e}{\cos\varphi} = 2{,}92\ l_e,$$

r_e devient ainsi approximativement

$$4 \times 10^{-3} \times \frac{(2{,}92 + 1)}{2} = 8.10^{-3}.$$

Nous obtenons alors, par le tâtonnement connu :

$\mathfrak{I} = 120$ A; $\mathfrak{I}_{eff.} = 85$; $\Phi_u = 500000$; $v = 4{,}95$; $\operatorname{tg}\varphi = 1{,}89$, $\varphi = 62°9'$ au lieu de $70°40'$; $\mathcal{E}_{eff.}$ totale $= 34{,}7$; $\mathcal{E}_{eff.}$ aux bornes $= 22{,}6$ volts.

L'expérience donne 21,5 volts aux bornes.

Il existe une autre façon de comprendre la correction. L'angle des pièces polaires est de 135°. Lorsque $\varphi = 70°$, l'angle utile, par lequel le flux passe, si la ligne neutre actuelle est bien en avance de 70° sur la ligne neutre à circuit ouvert, est :

$$135 + \frac{180 - 135}{2} - 70 = 87°{,}5.$$

Adoptons $\varphi = 65°$, ce qui est plus conforme à la réalité. L'angle utile devient :

$$135 + \frac{180 - 135}{2} - 65 = 92°{,}5.$$

La réluctance de l'entrefer serait alors, en supposant que les lignes de force sont toujours rayonnantes, ce qui ne peut être tout à fait exact :

$$\frac{4 \times 10^{-3} \times 135}{92{,}5} = 5{,}84 \times 10^{-3}$$

En tâtonnant, on trouve à peu près, toujours pour $\mathfrak{I} = 120$ A :

$\Phi_u = 570000$; $v = 4{,}4$; $\varphi = 65°20'$; $\mathcal{E}_{eff.} = 26{,}1$ aux bornes.

Essayons la correction pour 100 ampères maximum, 70,8 efficaces.

L'angle utile des pièces polaires =

$$135 + \frac{180 - 135}{2} - 60 = 97°$$

$$r_e = \frac{4 \times 10^{-3} \times 135}{97} = 5{,}55 \times 10^{-3}.$$

Le diagramme des Φ_u donne $\Phi_u = 810\,000$. Le tâtonnement conduit à

$\Phi_u = 750000$, $\Phi_i = 2465000$, $v = 3{,}33$; $\varphi = 56°8'$, $\mathcal{E}_{eff.}$ totale $= 51{,}5$ volts; $\mathcal{E}_{eff.}$ aux bornes $= 41{,}5$ volts.

L'expérience a donné $\mathcal{E}_{eff.} = 41{,}8$ volts aux bornes.

VÉRIFICATIONS EXPÉRIMENTALES

Les résultats du calcul et de l'expérience sont consignés dans la figure 8 sous forme de diagrammes.

Caractéristique externe. — La caractéristique externe, levée à 2 000 tours, est représentée en trait mixte (—. —. —). Elle diffère peu de la caractéristique calculée, surtout pour les régimes d'utilisation de la dynamo.

Digitized by Google

Dans les hauts ampérages il y a de petites différences dues probablement aux pertes de flux à l'induit — à l'intérieur de l'anneau et du bobinage surtout — pertes qui doivent être importantes pour des forces contre-magnétomotrices élevées, et aussi un peu à l'imperfection des calculs. Ces pertes à l'induit doivent être hors de proportion avec notre évaluation, attendu que nous supposons toutes les pertes produites aux pièces polaires, alors que l'existence d'une f.c. m. m. à l'anneau y amène des dérivations de flux extraordinaires.

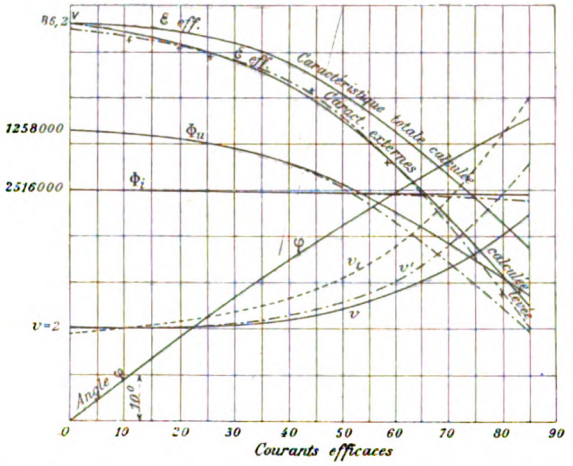


Fig. 8. — Courbes des f. é. m. aux bornes, des flux, des angles de décalage et des coefficients de flux total.

Courbe du flux utile. — La courbe levée (trait mixte) est encore un peu différente de la courbe calculée (trait plein) pour la même raison.

Courbe du flux des inducteurs Φ_i. — Le flux produit dans les inducteurs, calculé (trait plein) ou déterminé par la méthode balistique pour deux points (trait mixte), varie très peu, la f. c. m. m. de l'induit refoulant dans l'air un flux perdu croissant.

L'échelle des courbes des flux Φ_i et Φ_u n'est pas la même pour maintenir les deux courbes dans le cadre des diagrammes de la figure 8.

Courbe des coefficients v de flux total. — $v = \frac{\Phi_i}{\Phi_u}$. Le coefficient v est le facteur communément appelé, mais à tort, coefficient de perte de flux. C'est le coefficient qui, multipliant le flux utile, donne le flux total produit Φ_i.

La courbe calculée est toujours dessinée en trait plein. La courbe v', levée au balistique, a été déterminée pour deux points, à 0 et à 80 ampères efficaces. Cette dernière courbe est plus élevée que la courbe théorique, pour la raison indiquée que les pertes par l'intérieur de l'induit sont hors de proportion avec notre calcul, que nous pouvons du reste corriger, mais en le compliquant. Nous avons trouvé, en effet, par la méthode balistique, une élongation totale de l'échelle du galvanomètre, pour 80 ampères à l'induit, de 25,5 mm. pour deux spires (1-2 et 3-4, fig. 9) entourant les sections de l'anneau, et de 47,5 mm. pour une spire (1-4) entourant tout l'enroulement induit, ces spires se trouvant d'ailleurs dans le plan de maximum de flux ; ce plan étant déterminé par la recherche de la position des spires donnant la plus forte élongation. Il résulte de cette mesure qu'il passe à l'intérieur de l'anneau, à côté de l'enroulement, un flux capable de produire une déviation de 21,7 mm., alors que le flux utile donne seulement 25,8 mm.

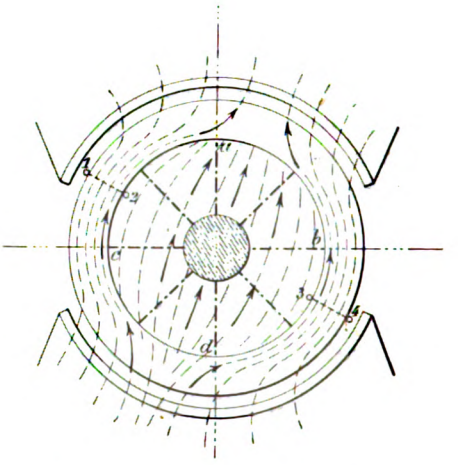


Fig. 9. — Flux dans l'induit débitant.

Cette perte de 21,7 à l'intérieur de l'induit étonnera peut-être quelques lecteurs comme elle a étonné un de nos amis. Nous nous y

Digitized by Google

arrêtons en essayant un calcul de vérification et en donnant un résultat d'expérience confirmative.

La résistance magnétique de la partie inférieure *abcd* de l'anneau est approximativement

$$\frac{l_e}{s_e} = \frac{8}{14 \times 25};$$

la f. c. m. m. qu'il faut vaincre à travers le fer et qui refoule le flux de perte à l'intérieur est environ

$$4\pi \frac{\mathfrak{N}}{2} \mathfrak{I} + \Phi_u r_a.$$

Négligeons $\Phi_u r_a$ qui est relativement petit.

Si $\Phi_{p'}$ est le flux à l'intérieur de l'anneau, nous pouvons écrire :

$$4\pi \frac{\mathfrak{N}}{2} \mathfrak{I} = \Phi_{p'} \frac{l_e}{s_e} = \Phi_{p'} \frac{8}{14 \times 25}.$$

Pour $\mathfrak{I}_{eff.} = 80$ ou $\mathfrak{I} = 112$, on a :

$$7{,}6 \times 10^3 = \Phi_{p'} \times \frac{8}{14 \times 25} \text{ et } \Phi_{p'} = 310.000.$$

Ce flux correspond à une élongation de 17 mm. au balistique.

Si nous avions tenu compte des pertes par les faces latérales (faibles cependant) et de la présence de l'arbre en fer à l'intérieur de l'anneau, nul doute que nous aurions pu trouver 21 à 22 mm.

Nous nous rappelons que nous avons déterminé le flux dans l'anneau retiré de son champ et placé sur deux appuis en bois. L'excitation était variable et elle donnait la courbe des flux de la figure 10. Pour 80 ampères (courant continu) nous obtenions une élongation de 22,8 mm. Or, c'est cette élongation qui donne sensiblement la perte par l'intérieur de l'induit car le retour des lignes de force dans notre expérience devait se faire pour la plus grande partie par l'intérieur et sous une f. m. m. égale à la f. c. m. m. de l'induit dans la marche en génératrice. Il y a donc concordance parfaite des résultats si l'on remarque surtout que les expériences dont nous comparons les résultats n'ont pas été exécutées au même moment.

Le coefficient v que nous avons calculé pour 80 ampères est 4. Corrigé par le calcul ci-dessus, il devient :

$$4 + \frac{21{,}7}{25{,}5} = 4{,}85.$$

D'autre part, la courbe v' donne 4,93 pour résultat de l'expérience. On voit que l'approximation du calcul est plus grande qu'on aurait pu l'espérer.

La courbe v_1 en trait pointillé a été obtenue également au galvanomètre balistique en faisant circuler des courants croissants dans un des enroulements induits opposé pôle pour pôle au flux inducteur, c'est-à-dire ayant son plan perpendiculaire à la direction du flux in-

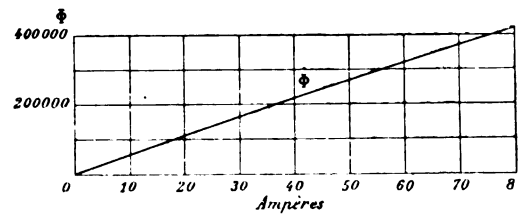


Fig. 10. — Flux dans l'induit enlevé de la dynamo et excité par ses bobines.

ducteur, et tendant à produire un flux de sens contraire à ce dernier. Le flux inducteur était produit par un courant de 15 ampères comme en marche normale.

Cette courbe v_1 est naturellement plus élevée que la précédente pour l'obtention de laquelle nous inclinions évidemment l'enroulement induit de réaction suivant l'angle d'avance φ. Nous avons ainsi trouvé $v_1 = 7{,}1$ pour 85 ampères à l'induit.

Courbe des angles de calage φ. — L'angle de calage φ varie à peu près proportionnellement au courant dans les limites du fonctionnement de la dynamo.

Courbe des forces électromotrices. — La courbe D de la figure 11 représente le flux de force dans les différentes spires de l'induit, à circuit ouvert. Nous l'avons obtenue par la méthode balistique en enroulant une spire autour de la section de l'anneau, en la plaçant

Digitized by Google

successivement dans toutes les directions par rapport à la ligne des pôles, étant toujours reliée à un galvanomètre, et en renversant chaque fois le courant inducteur.

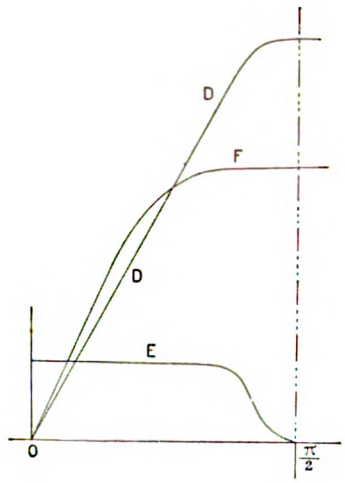


Fig. 11. — Courbes levées des flux et des f. é. m. dans les spires de l'induit.

La dérivée de cette courbe est évidemment la courbe des f. é. m. dans une spire de l'induit; c'est la courbe E obtenue par le tracé inverse de celui des courbes intégrales.

Si nous portons les ordonnées de cette

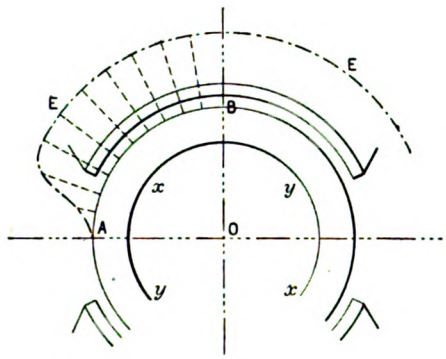


Fig. 12. — Courbe levée des valeurs du champ dans l'entrefer.

courbe suivant des rayons à la périphérie de l'induit (fig, 12) et si nous faisons tourner d'un quart de tour un des enroulements à courants alternatifs, en additionnant les ordonnées de la courbe E comprises dans le quadrant de cet enroulement, et pour chaque position de ce dernier, nous obtenons la courbe F qui donne l'allure de la courbe des f. é. m. dans l'armature. C'est, à chaque instant, la somme des forces électromotrices créées dans les différentes spires d'un cadre induit.

Tous ces tracés ont été exécutés à grande échelle.

En déterminant une courbe dont les ordonnées sont proportionnelles aux carrés des ordonnées de F, en surfaçant et déterminant les ordonnées moyennes, on arrive aux résultats suivants qui ne sont pas applicables d'une façon absolue à tous les régimes de la dynamo, mais qui sont d'une approximation bien suffisante.

$\frac{\mathcal{E}_{moy.}}{\mathcal{E}_{max.}} = 0{,}735$. Même valeur pour fonctions sinusoïdales : 0,637

$\frac{\mathcal{E}^2_{moy.}}{\mathcal{E}_{max}} = 0{,}573$. — — — 0,500

$\frac{\mathcal{E}_{eff.}}{\mathcal{E}_{max.}} = 0{,}757$. — — — 0,707

$\frac{\mathcal{E}_{moy.}}{\mathcal{E}_{eff.}} = 0.97$. — — — 0,900

Remarque : Les calculs sont effectués à la règle dans tout le travail.

APPLICATION DE LA MÉTHODE ORDINAIRE DE CALCUL A LA DÉTERMINATION DE LA CARACTÉRISTIQUE EXTERNE

Voltage sous débit de 50 ampères efficaces. — Appliquons la formule connue :

$$4\pi nI - 4\pi \frac{\varphi}{\pi} 2\,\mathfrak{M}\,\mathfrak{I}_{eff.} = \Sigma\Phi r.$$

Prenons pour φ la valeur calculée par notre méthode, c'est-à-dire 42°. On conseille souvent 1/3 à 1/4 pour valeur de $\frac{\varphi}{\pi}$. Nous prenons donc

$$\frac{\varphi}{\pi} = \frac{42}{180} = \frac{1}{4{,}3}.$$

$$4\pi nI = 18{,}3 \times 10^3$$

$$4\pi \frac{\varphi}{\pi} 2\,\mathfrak{M}\,\mathfrak{I}_{eff.} = 2{,}92 \times 10^3.$$

On trouve :

$$\Sigma\Phi_r = (18{,}3 - 2{,}9) \times 10^3 = 15{,}4.10^3.$$

Digitized by Google

La courbe des $\Sigma\Phi r$ (fig. 4) donne pour $\Phi_u = 1230000$.

$$\mathcal{E}_{eff.} \text{ totale} = 0{,}087 \times 10^4 \times 1.230.000 = 84{,}7.$$

$$\mathcal{E}_{eff.} \text{ aux bornes} = 78{,}3 \text{ volts.}$$

Comme on obtient 65,7 volts par expérience, c'est une différence de

$$\frac{12.6 \times 100}{65.7} = 19{,}2 \text{ o/o.}$$

En prenant pour φ le demi-angle des cornes polaires, ce qui se fait aussi quelquefois, on trouve 22°,30′ et l'erreur est encore plus forte.

Le flux transversal se déduit de la formule suivante, également bien connue :

$$4\pi \frac{\pi - 2\varphi}{2\pi} 2\,\mathfrak{N}\,\mathfrak{I}_{eff.} = \Phi_t \frac{2l}{2S_e} = \Phi_t \times 4 \times 10^{-8}.$$

On en tire

$$\Phi_t = 840\,000.$$

Les flux Φ_u et Φ_t étant perpendiculaires, nous devons admettre que la diagonale du rectangle construit sur Φ_u et Φ_t donne la direction du flux réel résultant et l'angle φ :

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\Phi_t}{\Phi_u} = \frac{840\,000}{1\,230\,000} = 0{,}663 \text{ et } \varphi = 33°,33'.$$

Nous avons trouvé 42°,3 par notre méthode.

Si nous considérions un flux résultant représenté par la diagonale du rectangle, ce flux aurait pour valeur :

$$\sqrt{(840\,000)^2 + (1\,230\,000)^2} = 1\,488\,000.$$

Ce flux résultant serait plus grand que le flux à circuit ouvert, ce qui est impossible.

Voltage sous débit de 85 ampères efficaces. — Soit :

$$\varphi = 65°,$$

$$4\pi 2\,\mathfrak{N}\,\frac{2}{\pi}\,\mathfrak{I}_{eff.} = 7{,}7 \times 10^3,$$

$\Sigma\Phi_r = 10{,}6 \times 10^3$ et le flux Φ_u correspondant est 1 105 000,

$$\mathcal{E}_{eff.} \text{ aux bornes} = 80 - 12{,}1 = 67{,}9 \text{ volts.}$$

L'expérience donnant seulement 21,5 volts, cela fait une différence de 216 p. 100.

Le flux transversal, calculé comme ci-dessus serait 762 000, et φ aurait pour valeur 33°,13′, soit un peu moins que pour le régime de 50 ampères. Quant au flux résultant, il atteindrait 1 383 000 ce qui est encore trop élevé et bien impossible, puisqu'il y a en réalité environ 500 000.

On remarquera facilement qu'il suffit de tenir compte des valeurs réelles du coefficient v, de construire de nouvelles courbes des $\Sigma\Phi r$ ou des flux d'Hopkinson pour chacune de ces valeurs, pour arriver, avec la méthode ordinaire, même en se donnant des angles φ au juger, à une approximation déjà assez importante. Nous n'avons pas voulu faire la correction parce que nous ne connaissions pas, jusque maintenant, de tentative faite pour déterminer les variations de v et de φ. Quant à l'exagération du flux transversal, elle reste, et elle contribue à donner un flux résultant toujours trop fort.

CONCLUSIONS

On vient de voir que l'ancienne méthode de calcul des dynamos ne donne pas des résultats concordant avec la pratique en dehors du voltage à circuit ouvert.

Notre méthode ne s'appuie que sur des principes connus, appliqués judicieusement. Elle permet le calcul approché de valeurs que l'on déduisait jusque maintenant de la pratique.

Nous serons satisfait si elle rend quelque service aux ingénieurs. Au reste, si nous basons notre avis sur nos faibles connaissances pratiques, et sur quelques approximations obtenues par différents constructeurs dans la fourniture de dynamos que nous avons vues, et expérimentées, notamment de celle que nous étudions aujourd'hui, nous croyons pouvoir espérer que nous avons fait œuvre utile.

S. HANAPPE.

Digitized by Google

SUR LE PHÉNOMÈNE DE HALL

ET LA MESURE

DES CHAMPS MAGNÉTIQUES

A. Kundt a publié il y a deux ans (1) un important mémoire sur le phénomène de Hall dans le fer, le cobalt et le nickel.

Il a réalisé par électrolyse sur des miroirs platinés des couches très minces transparentes de fer, nickel, cobalt, afin de comparer la découverte de Hall à la rotation électro-magnétique du plan de polarisation de la lumière dans ces métaux. Ces recherches intéressantes ont prouvé que le phénomène de Hall, pour un courant primaire donné et pour différentes valeurs de l'intensité du champ magnétique, est proportionnel à la rotation du plan de polarisation. Celle-ci étant proportionnelle à l'aimantation, le phénomène de Hall lui est aussi proportionnel.

Cette conclusion a été contestée par M. E. H. Hall (2).

Kundt a cherché encore à réaliser des couches minces de bismuth en électrolysant une solution de tartrate de bismuth additionné d'acide tartrique et d'ammoniaque. Par ce procédé, il n'a pu obtenir des couches de bismuth épaisses ; le dépôt est métallique et adhérent au début seulement ; mais, en augmentant d'épaisseur, il devient bientôt noir et pulvérulent. Le regretté Professeur de l'Université de Berlin a voulu répéter l'expérience de Hall avec une couche de bismuth presque transparente obtenue de cette façon, en utilisant un champ magnétique de 24 000 unités et un galvanomètre de Thomson très sensible ; mais il n'a point réussi. Ce résultat est absolument en opposition avec les recherches antérieures des physiciens, d'après lesquelles le phénomène de Hall possède une intensité considérable dans le bismuth fondu.

Kundt n'a pu trouver la raison de cette différence entre les bismuths électrolysé et fondu, mais il fait remarquer que le métal fondu présente toujours une structure nettement cristalline, tandis que le bismuth déposé par galvanoplastie n'a aucun aspect cristallin, même sous le microscope.

On doit à M. Righi un mémoire capital sur le phénomène de Hall dans le bismuth (1). Dans ce travail le savant physicien, ayant découvert que l'expérience de Hall avait une si grande intensité dans le bismuth, s'est appliqué à construire des lames très minces pour obtenir des effets encore plus notables. Il a réussi de deux façons :

1° En fondant du bismuth sur une lame de verre et l'amincissant ensuite ;

2° En faisant l'électrolyse d'une solution de nitrate de bismuth.

Je ne m'arrêterai pas au premier procédé qui n'intéresse qu'indirectement mes recherches ; mais il convient de rappeler la seconde méthode :

« On fait une pâte de stéarine et de plom-
« bagine en poudre très pure, et on l'applique
« sur une lame de cuivre chaude.

« Lorsque la pâte est durcie, on en réduit la
« surface parfaitement plane et spéculaire et,
« au moyen d'une pile très faible, on y dépose
« par électrolyse du bismuth. Le liquide élec-
« trolytique est une solution filtrée de
« 100 grammes de nitrate de bismuth dans
« 180 cc. d'eau. Le dépôt étant formé, on met
« sur le voile de bismuth du plâtre mêlé avec
« de l'eau et, lorsqu'il a durci, on le chauffe.
« Le voile métallique reste sur le plâtre, et
« l'on ôte les traces de la pâte de plomba-
« gine avec de l'alcool bouillant et un pin-
« ceau. »

Rappelons aussi que M. Leduc (2) a étudié l'influence du magnétisme sur la résistance électrique du bismuth obtenu par l'électrolyse

(1) A. KUNDT, *Annalen der Physik*, Nouvelle série, t. XLIX, p. 257, 1893.

(2) E. H. HALL. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, 12 avril 1893, p. 198-199.

(1) RIGHI. *Journal de physique*, 2e série, t. III, p. 127, 1884. *Repertorium der Physik*, t. XX, p. 825, 1884 — *La Lum. Elect.*, t. X, p. 156.

(2) LEDUC. *Journ. de physique*, 2e série, t. X, p. 112. — *La Lum. Elect.*, t. XXXVIII, p. 493, 1890.

Digitized by Google

du nitrate acide ou du citrate ammoniacal de bismuth.

« Le bain galvanoplastique était préparé en « dissolvant 100 grammes de nitrate de bismuth cristallisé dans 200 grammes d'eau « acidulée par 15 à 18 grammes d'acide azotique pur. Le courant était produit par un ou « deux éléments de Daniell et le dépôt reçu « par une plaque médiocrement conductrice « formée de 2/3 de plombagine et de 1/3 de « stéarine, partiellement recouverte de vernis « à la gomme laque.

« Le dépôt est d'autant plus grenu et aussi « d'autant plus sensible à l'action du champ « magnétique qu'il s'est effectué plus rapidement. Il devient très lisse et brillant, mais « l'action du magnétisme est de vingt à vingt-deux fois moindre si l'on électrolyse le citrate au moyen d'un seul élément de Daniell. Il faut dans ce cas plus de vingt-quatre « heures pour obtenir un filament maniable, « c'est-à-dire ayant au moins 0 mm. 1 d'épaisseur. »

Réalisation des couches métalliques minces.

Les couches métalliques minces qui ont servi dans mes recherches ont été obtenues par électrolyse sur des miroirs en verre platiné. Ceux-ci m'avaient été fournis par M. E. Doré (99, boulevard de Charonne, Paris) et portaient 3 à 4 couches de platine.

Avec ces miroirs, on n'a pas à craindre les déformations mécaniques sous l'action de l'électro-aimant (1).

L'électrolyse était produite au moyen d'un accumulateur ; une boîte de résistances était intercalée dans le circuit et le miroir platiné était fixé dans une pince convenable.

J'ai fait l'électrolyse, soit d'une solution de nitrate acide de bismuth, soit d'une solution de tartrate double de bismuth et de potassium provenant de la fabrique Merck, à Darmstadt.

(1) GOLDHAMMER. *Annalen der Physik*. Nouvelle série, t. XXXI. p. 361, 1887.

Ces solutions s'obtiennent directement sans précautions spéciales; elles donnent facilement des couches de bismuth aussi épaisses que l'on veut et adhérant solidement à l'électrode.

Après avoir réalisé la couche mince de bismuth, on fixe le miroir de platine sur une plaque de mica au moyen du mastic bien connu, formé de cire et de colophane. On soude ensuite sur le bismuth, avec un alliage fusible, 4 fils de cuivre flexibles qui seront attachés sur la plaque de mica avec le mastic formé de cire et colophane.

Influence du milieu ambiant.

Il importe de placer les couches minces dans un milieu à température constante, car M. A. von Ettingshausen (1) a montré que le phénomène de Hall dans le bismuth et le tellure doit paraître trop petit par suite de l'effet galvanomagnétique.

Pour éliminer cette action, les plaques de mica, supports des miroirs platinés, sont placés dans un gros tube de verre qui est traversé suivant son axe par un rapide courant d'eau.

De la méthode.

La méthode employée, analogue à celle de Kundt, est décrite dans Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik, 9e édition, par Pfaundler, t. 3, p. 923 et représentée dans la figure 1.

L'intensité du courant primaire, réglée au moyen d'une résistance, est mesurée avec un galvanomètre de torsion de Siemens et Halske. Le sens du courant peut être modifié par un commutateur.

Le phénomène de Hall est observé avec un galvanomètre Deprez-d'Arsonval très sensible muni des ressorts en fil de bronze phosphoreux de M. Eric Gérard (2). Le galvanomètre

(1) A. VON ETTINGSHAUSEN. *Annalen der Physik*, Nouvelle série, t. XXXI, p. 751 à 753, 1887. — *La Lum. Elec.* t. XXVIII, p. 333, 1888.

(2) E. HOSPITALIER. Traité élémentaire de l'énergie électrique t. I, p. 176, 1890.

Digitized by Google

Deprez-d'Arsonval convient évidemment très bien pour ce genre d'expériences; on sait d'ailleurs le construire maintenant de manière à le rendre très sensible. Un galvanomètre de faible résistance est nécessaire dans le cas actuel, celui dont je me suis servi avait 4 ohms de résistance environ.

Il n'est guère possible de souder les électrodes verticales sur la plaque de bismuth en deux lignes équipotentielles. Pour compenser le courant qui en résulte au galvanomètre Deprez-d'Arsonval, on se sert du procédé connu. A cet effet, on intercale dans le circuit

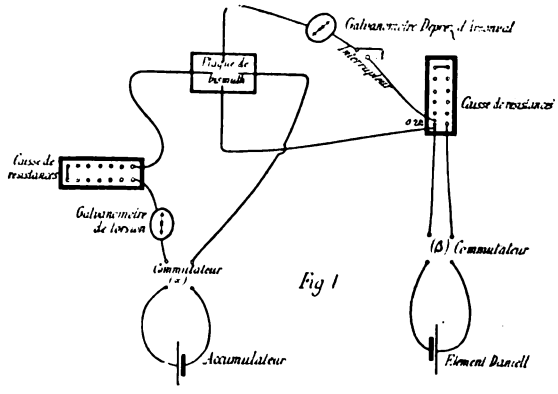


Fig 1

Fig. 1. — Disposition des appareils.

d'un élément Daniell un commutateur et une caisse de résistances allant jusque 0,2 ohm. Cette résistance 0,2 ohm fait aussi partie du circuit qui comprend l'interrupteur A et le galvanomètre Deprez-d'Arsonval. Il convient de faire d'abord approximativement la compensation avec un galvanomètre peu sensible, afin d'éviter les trop grands écarts du miroir et d'achever la compensation avec le galvanomètre qui sert aux mesures.

Les déviations du miroir du galvanomètre sont observées avec une lunette.

Dans plusieurs expériences, il eût été incommode d'effectuer la compensation, parce que le courant à compenser était très faible. On s'est contenté alors de déplacer la lunette avec son échelle afin de ramener la lunette dans la direction de la normale au miroir dévié.

Lorsqu'on fait passer le courant dans l'électro-aimant, il se produit un choc d'induction très fort au galvanomètre Deprez-d'Arsonval. L'interrupteur A permet de remédier à cet inconvénient. Après avoir laissé passer le courant primaire dans la plaque de bismuth, on ferme l'interrupteur pour effectuer la compensation. On ouvre ensuite l'interrupteur et l'on actionne l'électro-aimant; puis on ferme de nouveau l'interrupteur et l'on fait la lecture à la lunette.

Champ magnétique.

Le champ magnétique était fourni par un électro-aimant de Ruhmkorff de grandeur moyenne. Les pôles vissés étaient remplacés par des troncs de cône, dont l'ouverture avait 120°, ce qui donne la plus grande intensité du champ magnétique (1). Les petites bases des troncs de cône avaient un diamètre de 27 mm. afin que le champ magnétique embrassât toute l'étendue des plaques de bismuth.

Le courant électrique, fourni par des accumulateurs, pouvait être inversé par un commutateur et variait entre 37 et 39 ampères.

J'ai aussi employé dans une expérience un aimant permanent en fer à cheval dont la puissance n'était pas bien grande.

RÉSULTATS.

Couche de bismuth n° 1.

Cette plaque de bismuth n'était pas mise dans un tube de verre, afin de pouvoir être placée plus près de l'aimant permanent. La couche de bismuth, qui était assez mince, avait été obtenue par électrolyse du nitrate de bismuth. Comme les deux électrodes de Hall ne se trouvaient pas tout à fait sur deux lignes équipotentielles, on a déplacé la lunette avec l'échelle afin de ramener la lunette dans la direction de la normale au miroir dévié.

La distance du miroir à l'échelle était de 2,30 mètres environ et l'échelle était divisée en millimètres.

(1) H. DU BOIS. Magnetische Kreise, deren Theorie und Anwendung, p. 286 et 287, 1894.

Digitized by Google

L'aimant permanent était à une distance de 6 mm. environ de la plaque de bismuth.

Le courant primaire avait une intensité de 0,028 ampère.

Les expériences ont été faites de la manière suivante : La plaque de bismuth étant placée en face d'un des pôles de l'aimant, on lisait à la lunette la division 119. On tournait alors l'aimant de façon à échanger les positions des pôles et l'on observait à la lunette la division 11 de l'autre côté du zéro.

Le phénomène de Hall était donc marqué par $\frac{119 + 11}{2} = 65$ mm.

Couche de bismuth n° 2.

Cette plaque était placée dans un gros tube de verre traversé par un fort courant d'eau. La couche de bismuth avait été obtenue par électrolyse du nitrate de bismuth.

On a effectué la compensation du courant provenant de ce que les électrodes de Hall n'étaient pas sur deux lignes équipotentielles.

La distance du miroir à l'échelle était de 2,50 m. environ.

Je me suis servi ici de l'électro-aimant de Ruhmkorff, dont les pôles étaient distants de 31 mm.

Le courant primaire avait une intensité de 0,004 ampère (1).

L'intensité du courant qui actionnait l'électro-aimant variait entre 37,5 et 38 ampères. L'échelle fixée à la lunette portait des divisions à droite et à gauche d'un zéro commun. Dans la suite, pour abréger, nous affecterons du signe + les divisions à droite du zéro et du signe — les divisions à gauche du zéro.

La plaque étant disposée pour les expériences et traversée par les différents courants, on activait l'électro-aimant et on notait à la lunette la division + 408. En changeant le sens du courant dans l'électro-aimant, on observait la division — 138,5. Le phénomène de Hall correspondait donc à

$\frac{408 + 138{,}5}{2} = 273{,}2$ divisions de l'échelle.

Lorsque aucun courant ne traversait l'électro-aimant, on avait la division + 3.

On voit par là que la production d'un champ magnétique donne lieu à un phénomène de Hall exprimé par 405 divisions pour une certaine aimantation et par 141,5 divisions pour l'aimantation opposée.

Cette dissymétrie avait déjà été observée par MM. von Ettingshausen et Nernst et par M. E.-H. Hall (1).

D'après M. E. H. Hall, la dissymétrie est très peu sensible, si tant est qu'elle existe, lorsque le champ magnétique est relativement faible, 4500 unités ou moins; mais elle est très notable dans un champ de 19 000 unités. Toutefois, dans ce cas, la lame étudiée s'échauffait assez pour faire fondre le mélange de résine et de cire d'abeilles qui servait à la fixer sur le verre.

Ainsi, le phénomène ne se manifeste pas d'une manière certaine dans les expériences de M. E. H. Hall, tandis que j'ai pu l'observer dans toutes les couches de bismuth que j'ai examinées, avec un champ magnétique relativement peu intense, mais à des degrés différents.

Cela provient, comme je le montrerai bientôt, de l'extrême minceur de mes couches de bismuth. Remarquons encore que les courants primaires employés par M. E. H. Hall et les autres physiciens (à l'exception de Kundt) sont beaucoup plus forts que ceux dont je me suis servi.

M. E. H. Hall n'a pu trouver la cause de la dissymétrie qu'il avait signalée (2).

(1) Cette valeur, donnée par le galvanomètre de torsion, doit être évidemment considérée comme un renseignement très approximatif, et non comme une mesure exacte du courant.

(1) E.-H. Hall. *American Journal of Science*, Third Series, vol. XXXVI, p. 282-283, 1888, *Journal de Physique*, t. VIII, p. 239, 1889.

(2) Voici à cet égard un extrait de son travail : « I have no record of further observations upon this point which certainly demands investigation. The deflection observed may possibly have been merely accidental, but I do not think there were so. »

Loc. cit., p. 283.

Digitized by Google

Je crois qu'elle doit être cherchée dans l'augmentation de la résistance électrique de la plaque de bismuth sous l'action du champ magnétique.

Lorsque l'électro-aimant agit, la résistance électrique de la couche de bismuth augmente, d'autant plus que cette couche est plus mince ; un déplacement de la position du miroir du galvanomètre, *indépendant du phénomène de Hall*, doit en résulter.

Si l'on admet que l'aimantation dans un sens donne lieu à un courant de Hall de même intensité que l'aimantation dans l'autre sens, on pourra dire que le phénomène de Hall est exprimé par $\frac{408 + 138,5}{2} = 273,2$ divisions de l'échelle.

L'augmentation de la résistance électrique dans le champ magnétique a donc pour résultat d'amener le zéro du galvanomètre à la division $408 - 273,2 = + 134,8$, tandis que l'on observe la division $+ 3$ si le champ magnétique n'est pas produit.

Les expériences suivantes viennent confirmer cette manière de voir :

1° Après avoir fait les mesures ci-dessus avec la couche de bismuth n° 2, j'ai supprimé le champ magnétique et j'ai arrêté le courant d'eau qui traversait le tube de verre.

La température de l'eau qui se trouve dans ce tube s'élève alors et la plaque de bismuth s'échauffe.

On observe que le zéro du galvanomètre se déplace dans ces conditions de la division $+ 3$ vers la division $+ 134,8$.

Une élévation de la température produit donc le même effet que la production d'un champ magnétique.

2° Le courant d'eau étant rétabli dans le tube de verre, retournons la plaque de bismuth face pour face sans rien changer aux fils conducteurs (fig. 2 et 3) et faisons passer de nouveau les courants électriques.

Dans ces conditions, l'aimantation qui produisait tantôt la déviation $+ 408$ donne maintenant lieu à la division $- 138,5$, et réciproquement.

Il est facile d'en trouver la raison.

La borne P' du galvanomètre Deprez-d'Arsonval qui, dans la première expérience

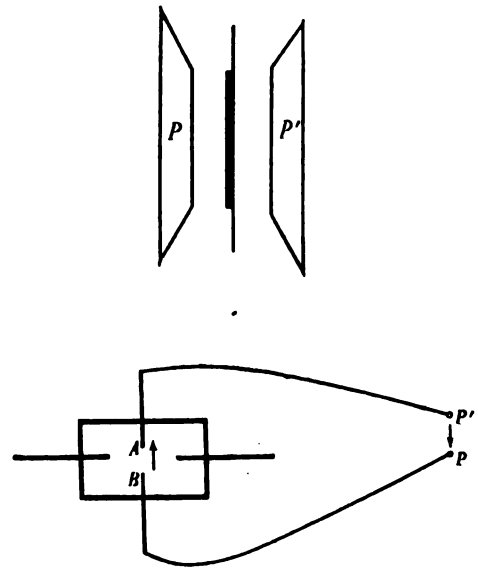


Fig. 2. — Position 1 de la plaque.

(fig. 2), était reliée à la partie supérieure A de la plaque de bismuth se trouve après la rotation (fig. 3) en communication avec la partie inférieure A_1 de cette plaque.

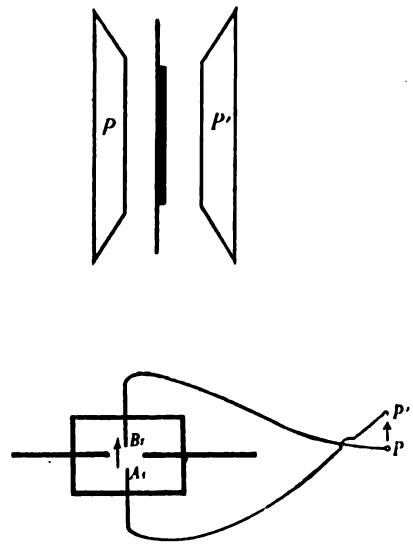


Fig. 3. — Position 2 de la plaque.

La position du miroir qui résulte de l'in-

Digitized by Google

fluence du magnétisme sur la résistance électrique du bismuth correspond à la division — 134,8. L'aimantation qui donne, dans la position I de la plaque, un courant de Hall dirigé de B en A ou de P' vers P, (fig. 2) amène la division + 134,8 + 273,2 = + 408. A cette aimantation correspond, dans la position 2 de la plaque, un courant de Hall identique en grandeur et sens, qui est dirigé par conséquent de A_1 en B_1 ou de P vers P' (fig. 3) et donne la division + 134,8 — 273,2 = — 138,4.

3° Il est facile de voir que si l'on renverse le sens du courant primaire dans la croix de Hall, on devra obtenir respectivement les déviations — 408 et + 138,5, ce que j'ai observé en effet. On comprend aussi que, dans mes expériences avec des couches de bismuth si minces la dissymétrie soit si notable.

Enfin, ce phénomène a été observé seulement dans le bismuth, qui est également de tous les métaux celui dont la résistance électrique varie le plus, et de beaucoup sous l'action du magnétisme.

Il résulte de cette explication que la dissymétrie ne peut se produire que si les électrodes de Hall ne sont pas sur deux lignes équipotentielles. Pour avoir une mesure du phénomène de Hall, il faudra donc produire successivement les deux aimantations inverses dans l'électro-aimant et prendre la moyenne des deux déviations observées.

Influence de l'inclinaison de la plaque de bismuth par rapport aux lignes de force magnétique.

Le phénomène de Hall avait une intensité telle dans mes expériences qu'il était possible de l'observer encore bien nettement, lorsque la plaque faisait un angle très petit avec les lignes de force du champ magnétique. Dans la position normale à ces lignes, l'action est maxima et dans la position parallèle, elle est nulle.

Phénomène de Hall pour les courants alternatifs.

Une bobine d'induction pour usages médicaux est placée dans une salle éloignée du laboratoire où se font les mesures. Le courant alternatif produit est amené dans la salle des expériences par deux fils réunis directement aux électrodes primaires de la plaque de bismuth, tandis que les électrodes de Hall sont reliées à un téléphone.

La bobine d'induction est éloignée suffisamment pour ne pas gêner les observations au téléphone.

On choisit parmi les plaques de bismuth celles dont les électrodes de Hall se trouvent à peu près sur deux lignes équipotentielles, afin que l'on n'entende qu'un son très faible au téléphone, lorsque l'électro-aimant n'agit pas.

La plaque .est placée entre les pôles de l'électro-aimant, distants de 30 mm., et l'électro-aimant est actionné par un courant de 35 ampères environ.

Dès que l'on produit le champ magnétique, le faible son entendu au début dans le téléphone augmente d'une manière très notable et persiste tant que le courant traverse l'électro-aimant.

J'ai fait à cette occasion une expérience qui vient confirmer encore l'explication de la dissymétrie que j'ai observée notamment avec la plaque n° 2.

Sous l'influence du champ magnétique, le son perçu au téléphone augmente toujours d'intensité, mais on observe que le renforcement du son est plus grand pour une aimantation que pour l'autre.

Retournons alors la plaque de bismuth face pour face, sans rien changer aux connexions : l'aimantation qui donnait tantôt le renforcement du son le plus grand donne lieu maintenant au renforcement le plus faible et vice-versa.

Le phénomène de Hall pour les courants alternatifs a été observé avec plusieurs plaques de bismuth.

Couche de bismuth électrolysé du tartrate double de bismuth et de potassium.

Le bismuth qui résulte de l'éleotrolyse du tartrate double de bismuth et de potassium

Digitized by Google

présente un aspect tout différent de celui du métal électrolysé du nitrate acide de bismuth. Ce dernier a la couleur du bismuth fondu et possède en couches épaisses une structure nettement cristalline, tandis que le métal provenant du tartrate est noirâtre et amorphe. Néanmoins, il est facile d'obtenir des couches de bismuth épaisses et très adhérentes par électrolyse de ce tartrate.

La plaque de ce bismuth que j'ai étudiée était fixée seulement sur une lame de mica, afin de pouvoir être placée entre des pôles plus rapprochés. Je me suis borné à rechercher le phénomène de Hall pour les courants constants, cette expérience étant la plus facile. Le dispositif employé est celui qui a été décrit à l'occasion de la plaque n° 1, les deux électrodes de Hall étant à peu près sur deux lignes équipotentielles.

Le courant primaire avait une intensité de 0,0185 ampère. Les deux pôles de l'électro-aimant, qui était actionné par un courant de 39 ampères, étaient placés à une distance de 9 mm. l'un de l'autre.

La production du champ magnétique ou le renversement du sens de l'aimantation de l'électro-aimant n'ont donné lieu à aucune déviation permanente au galvanomètre Deprez-d'Arsonval. Si le phénomène de Hall existe dans le métal électrolysé du tartrate double, il a une intensité très faible.

Cette conclusion, à laquelle Kundt était arrivé en électrolysant un autre tartrate, me semble mieux établie maintenant, car les couches sur lesquelles j'ai opéré sont très adhérentes, tandis qu'il n'en est pas de même dans l'expérience du regretté Professeur de l'Université de Berlin.

Ainsi le phénomène de Hall qui existe dans le métal fondu ou électrolysé du nitrate acide de bismuth, avec une intensité extraordinaire ne peut être observé avec le métal électrolysé du tartrate.

M. le Dr A. Classen, professeur de chimie à l'École polytechnique d'Aix-la-Chapelle, à qui j'avais communiqué les résultats de mes expériences et qui possède une compétence spéciale sur l'analyse chimique électrolytique, m'a fait remarquer que, dans l'électrolyse des sels provenant des acides tartrique et citrique, les métaux qui se déposent sur l'électrode négative contiennent du carbone.

La présence du carbone dans le bismuth pourrait fort bien être la cause des différences observées.

Il convient d'ailleurs de rapprocher de ce résultat les expériences de M. A. Leduc avec le citrate de bismuth ammoniacal. Ce physicien a trouvé que l'influence du magnétisme sur la résistance électrique du métal électrolysé du citrate était vingt à vingt-deux fois plus faible que pour le bismuth provenant du nitrate acide.

Je me propose de vérifier également si la résistance électrique du bismuth électrolysé du tartrate varie sous l'influence du magnétisme.

Mesure du champ magnétique.

Le champ magnétique a été mesuré par la variation de la résistance électrique d'une spirale de bismuth de M. Lenard. On a utilisé à cet effet la courbe d'étalonnage qui est jointe à l'appareil par les constructeurs MM. Hartmann et Braun.

J'ai employé cette méthode sans précautions spéciales, car je désirais, dans le cas actuel, avoir seulement une indication approximative de la valeur du champ magnétique.

Les résistances électriques étaient mesurées au moyen d'un pont de Wheatstone. La distance des pôles de l'électro-aimant étant de 31 mm., l'intensité du champ magnétique est de 4 750 unités C. G. S., quand un courant de 36 ampères traverse l'électro-aimant.

Depuis longtemps mes expériences, confirmées dans la suite par plusieurs physiciens, ont établi que l'influence du magnétisme sur la résistance électrique du bismuth variait considérablement avec la température et qu'il fallait en tenir compte dans des mesures un peu exactes des champs magnétiques.

L'intéressant travail de M. J.-B. Hender-

Digitized by Google

son (1) confirme cette conclusion pour des champs magnétiques très intenses. En effet, les distances des diverses courbes (fig. 8, pl. XVI du mémoire de Henderson) à la droite relative au champ zéro, *comptées parallèlement à l'axe des résistances*, expriment la valeur de l'action magnétique aux diverses températures et diminuent toujours à mesure que la température s'élève.

Notons en passant, que le coefficient de variation de la résistance électrique avec la température, dans un champ nul, est pour la spirale de M. J.-B. Henderson : 0,00416. Mes expériences avec le bismuth absolument pur m'ont donné jadis : 0,00422 et 0,00429 suivant l'état physique du métal (2).

CONCLUSIONS

1. — L'électrolyse du nitrate acide de bismuth ou du tartrate double de bismuth et de potassium donne lieu à des dépôts adhérents sur une électrode constituée par un miroir platiné.

2. — La résistance électrique du bismuth électrolysé du nitrate acide de bismuth augmente considérablement dans le champ magnétique et les couches minces obtenues donnent lieu à un phénomène de Hall très intense, aussi bien pour les courants constants que pour les courants alternatifs.

3. — Les couches réalisées par électrolyse du tartrate double de bismuth et de potassium ne donnent pas lieu au phénomène de Hall.

4. — Les plaques de bismuth peuvent être obtenues par le procédé que j'ai indiqué dans ce travail, sans difficultés, beaucoup plus minces et plus continues que par les autres méthodes (Righi, Leduc, etc.); on peut d'ailleurs en faire varier l'épaisseur.

Ces couches de bismuth conviennent parfaitement pour l'étude du phénomène de Hall et même pour refaire l'expérience dans les cours en utilisant simplement un galvanomètre Deprez-d'Arsonval ordinaire.

5. — Le phénomène de Hall observé dans ces couches minces de bismuth fournit une méthode très sensible pour la mesure des champs magnétiques (1).

On pourrait dans ce cas mesurer la force électromotrice transversale qui produit le courant de Hall à l'aide de l'électromètre capillaire de Lippmann ou par la méthode de M. V. Fuchs (2).

Toutefois il conviendrait de déterminer à nouveau la variation du phénomène avec la température et l'intensité du champ magnétique, en maintenant constante la température du milieu ambiant, à cause de l'effet galvanomagnétique découvert par M. A. von Ettingshausen.

6. — On peut utiliser aussi le phénomène de Hall pour obtenir une mesure de la composante de la force magnétique terrestre dans une direction, en employant un galvanomètre très sensible (3), des courants primaires plus intenses que ceux dont je me suis servi et des couches de bismuth électrolysé suffisamment minces (4).

7. — Kundt (5) a trouvé expérimentalement que la vitesse de propagation de la lumière dans les métaux est proportionnelle à leur conductibilité électrique. Le bismuth ne paraît pas obéir à cette loi.

Kundt fait remarquer à ce sujet que le bismuth dont les physiciens ont mesuré la conductibilité électrique avait toujours une structure cristalline, tandis que les prismes minces qui ont servi à ses déterminations de l'indice

(1) Henderson. *Philosophical Magazine*, t. XXXVIII, p. 488, 1894. — *L'Eclairage Electrique*, t. II, p. 41, 1895.
(2) Van Aubel. *Annales de chimie et de physique*, 1889. — *La Lum. Elect.*, t. XXXII, p. 542, 1889.

(1) Voir le desideratum exprimé à cet égard par M. H. du Bois : Magnetische Kreise, deren Theorie und Anwendung, p. 330-331, 1894.
(2) V. Fuchs, Ueber das thermoelectrische Verhalten einiger Nickel-Kupfer Legierungen, Graz 1893.
(3) Celui de MM. H. du Bois et H. Rubens, par exemple décrit dans *Annalen der Physik*, Nouvelle série, t. LXVIII, p. 236, 1893.
(4) Voir à ce sujet : Righi. *Repertorium der Physik*, t. XX, p. 850, 1884. — *La Lum. Elect.*, t. X, p. 156.
(5) Kundt. *Annalen der Physik*, Nouvelle série, t. XXXIV, p. 487, 1888. — *La Lum. Elect.*, t. XXIX, p. 618, 1888.

Digitized by Google

de réfraction ne présentaient, même sous le microscope, aucune trace de structure cristalline. Ce serait la raison de l'exception signalée.

D'après M. Lenard (1), il faut, dans cette comparaison, faire intervenir la conductibilité électrique du bismuth pour les oscillations électriques, qui est plus élevée que pour les courants constants.

En électrolysant le nitrate acide de bismuth j'ai pu facilement obtenir des couches métalliques présentant l'aspect cristallisé du bismuth fondu.

Mais il convient de remarquer que, dans ses expériences sur l'indice de réfraction du bismuth, Kundt a fait l'électrolyse d'une solution tartrique (2) et nous avons vu précédemment que le métal ainsi obtenu jouit de propriétés spéciales.

Le travail actuel est une communication préliminaire destinée à prendre date : il reste plusieurs questions à examiner qui feront l'objet de mes recherches ultérieures.

Je me fais un devoir de remercier ici mes collègues P. de Heen, A. Macquet et surtout M. E. Gerard, directeur de l'Institut électrotechnique Montefiore, qui ont bien voulu mettre à ma disposition les instruments qui m'étaient nécessaires.

NOTE

M. E. H. Hall, dans son dernier travail sur le sujet qui nous occupe (3), fait remarquer que, suivant l'explication du phénomène par M. le prof. E. von Lommel (4), le courant de Hall doit avoir un sens différent dans les métaux magnétiques et dans les métaux diamagnétiques, tandis que, en réalité, le fer et le nickel se comportent de façons opposées.

Les valeurs suivantes du pouvoir rotatoire qui résultent des expériences de MM. A. von Ettingshausen et W. Nernst (1) sur des substances très pures sont encore plus significatives à cet égard.

MÉTAUX diamagnétiques	R	MÉTAUX magnétiques	R
Tellure. . . .	+ 530	Fer	+ 0,0113
Bismuth . . .	— 10,1	Nickel	— 0,0242
Antimoine . .	+ 0,192	Cobalt	+ 0,00459

EDM. VAN AUBEL
professeur à l'Université de Gand.

LA DÉTERMINATION DE L'INTENSITÉ MOYENNE SPHÉRIQUE DES SOURCES DE LUMIÈRE (2)

IV. Méthodes nouvelles.

Les trois méthodes nouvelles que je vais exposer ont pour but de remplacer le tracé de la courbe photométrique par une seule opération aussi facile à faire qu'une mesure photométrique ordinaire (3).

Toutes trois ont le même principe : on place la source de lumière au centre d'une sphère opaque percée d'un ou plusieurs fuseaux par où sort la lumière (4); le flux émis par ces fuseaux étant une fraction définie du flux total, il suffit de l'évaluer en concentrant l'action de tous les rayons en un seul point de l'espace, à l'aide d'appareils qu'on appellera des *lumen-mètres*. C'est seulement dans les procédés employés

(1) Lenard. *Annalen der Physik*, Nouvelle série, t. XXXIX, p. 633, 1890.

(2) Kundt. *Annalen der Physik*, Nouvelle série, t. XXXIV, p. 478, 1888. — *La Lum. Elect.*, t. XXIX, p. 618, 1888.

(3) E. Hall. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, 12 avril 1893, note p. 197.

(4) E. von Lommel. *Annalen der Physik*, Nouvelle série, t. XLVIII, p. 462, 1893.

(1) A. von Ettingshausen et W. Nernst. *Repertorium der Physik*, vol. XXIII, p. 129, 1887.

(2) Voir l'*Éclairage Électrique* du 6 avril.

(3) Ces trois méthodes ont été imaginées en 1891; mais les difficultés d'exécution des instruments nécessaires m'ont forcé à en différer la publication jusqu'à cette année.

(4) Il va sans dire que la forme sphérique n'est nécessaire que pour les ouvertures et que le reste de l'enveloppe peut être de forme quelconque.

Digitized by Google

pour réaliser cette concentration qu'apparaissent les différences entre les méthodes.

Comme elles reposent toutes essentiellement sur les propriétés des diffuseurs par transmission ou par réflexion, je vais résumer celles-ci brièvement tout d'abord, de façon à donner aux explications suivantes une base parfaitement précise.

PRÉLIMINAIRES

Propriétés des diffuseurs par transmission.— On sait que les substances diffusantes telles que le verre opale, le papier, l'albâtre, etc. placées devant une source de lumière ne laissent plus distinguer celle-ci et se comportent elles-mêmes sur leur face postérieure comme *une nouvelle source*, émettant des rayons dans toutes les directions; c'est là la définition même de la diffusion. Mais les propriétés des divers corps diffuseurs ne permettent pas de les employer tous indistinctement en photométrie.

Diffuseurs parfaits. — Un diffuseur parfait devrait présenter les propriétés suivantes:

1° Ne laisser passer aucun rayon par transmission directe;

2° Emettre la lumière par sa face postérieure suivant la loi du cosinus comme les solides incandescents (noirs).

3° Emettre suivant une direction donnée une quantité de lumière toujours proportionnelle à l'éclairement de sa face antérieure, quel que soit l'angle d'incidence des rayons sur celle-ci.

Pour préciser ces propriétés, il est bon de représenter sous forme de graphique les lois de la diffusion.

La loi de répartition des intensités des rayons diffusés en tout point O d'un diffuseur E E' supposé très mince (fig. 11) peut se représenter, comme l'a montré M. Crova, de la même manière que pour les rayons émis par une source ordinaire; les intensités rapportées à l'unité de surface d'émission du diffuseur donnent les *pouvoirs émissifs*, analogues à ceux qu'on étudie en chaleur rayonnante. En représentant ceux-ci dans chaque direction, par une longueur proportionnelle OM, on obtient une surface caractéristique à laquelle M. Crova a donné le nom d'*indicatrice de diffusion.*

Pour un diffuseur parfait, suivant la loi du cosinus, la forme de la surface indicatrice, indépendante de la direction des rayons incidents en O, serait une simple sphère tangente à la surface d'émission et ayant un diamètre OD proportionnel à l'éclairement E de la face antérieure du diffuseur (1) c'est-à-dire au flux de

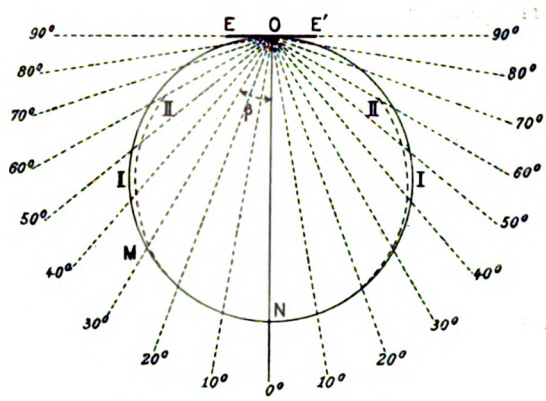


Fig. 11. — Indicatrice de diffusion.

lumière que celui-ci reçoit par unité de surface $\left(E = \frac{d\Phi}{ds}\right)$.

Pour étudier la relation entre l'éclairement de la surface antérieure et le pouvoir émissif, de la face postérieure dans les diffuseurs

(1) On peut représenter encore la loi de diffusion d'un corps d'une autre façon souvent intéressante et plus précise aux environs de $\alpha = 90°$, en faisant intervenir *l'éclat* apparent de la surface d'émission. Soit ds l'aire d'un élément de cette surface. dI_α l'intensité des rayons qu'elle émet suivant l'angle α: nous définirons *éclat* apparent du diffuseur dans cette direction le rapport

$$i_\alpha = \frac{dI_\alpha}{ds \cos\alpha}.$$

C'est une simple généralisation de la définition connue de l'éclat intrinsèque, qui se rapporte seulement à la direction normale

$$i_\alpha = \frac{dI_\alpha}{ds}.$$

Pour un diffuseur parfait suivant la loi du cosinus, l'éclat apparent i_α est une constante, et la surface caractéristique est une sphère ayant O pour centre.

Digitized by Google

où l'incidence ne modifie pas la forme de l'indicatrice, il suffit de prendre la valeur de l'éclat suivant la normale, puisque tous les autres pouvoirs émissifs varieront proportionnellement à celui-ci.

Supposons qu'on place derrière le diffuseur un écran opaque percé d'une ouverture qui limite la surface diffusante et qu'on l'éclaire sur sa face antérieure par un faisceau parallèle et homogène de puissance constante, dont on fait varier seulement l'angle d'incidence α; et portons suivant chaque direction la valeur correspondante du pouvoir émissif normal. On

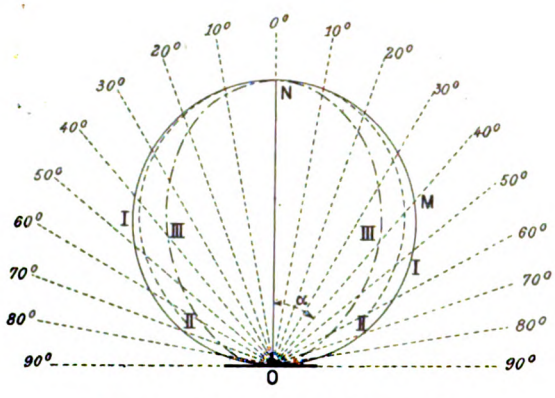


Fig. 12. — Indicatrice de transmission.

obtient ainsi une nouvelle espèce d'indicatrice (fig. 12), que nous appellerons une indicatrice de *transmission*.

Celle-ci serait, pour un diffuseur parfait, une sphère tangente à la surface du diffuseur (fig. 12, courbe I) (1).

Diffuseurs pratiques. — En pratique aucun diffuseur ne présente complètement les propriétés précédentes :

1° D'abord beaucoup d'entre eux ne diffusent qu'incomplètement la lumière, parce qu'ils sont en réalité demi-transparents ; tels sont le verre dépoli, les verres opales minces, etc. L'indicatrice de diffusion produite par des rayons incidents obliques est alors dissymétrique et présente un renforcement plus ou moins accusé au voisinage de la direction naturelle des rayons.

De semblables substances ne sont pas de vrais diffuseurs. Nous considérerons ici seulement celles qui donnent des indicatrices parfaitement symétriques autour de la normale quelle que soit la direction d'incidence ; les corps qui satisfont à ce désideratum ramènent donc les rayons à la symétrie pendant le trajet et peuvent, à raison de cette utile propriété, être qualifiés de « diffuseurs orthotropes ».

M. Khvolson a montré qu'il en est ainsi pour le verre opale à partir d'une épaisseur de 2 mm. et que la loi de diffusion reste la même pour toutes les épaisseurs supérieures. Je me suis assuré qu'il en est de même pour le papier d'épaisseur ordinaire.

2° L'indicatrice de diffusion de ces corps a pour méridienne une ovale ou un œuf ayant pour axe de symétrie la normale au diffuseur : la loi du cosinus n'est donc pas vérifiée ; mais cette courbe est cependant tangente au cercle théorique et ne s'en écarte jamais beaucoup (fig. 11, courbe II). Par exemple pour le verre opale les deux courbes I et II se confondent sur une certaine étendue et la différence sous l'angle de 60° se traduit d'après Khvolson par le rapport

$$\frac{l_{60}}{l_o} = 0{,}43,$$

au lieu de 0,50 que donnerait la loi du cosinus.

Pour le papier l'indicatrice méridienne s'écarte extrêmement peu du cercle, bien qu'elle soit peut-être un près plus pointue aux environs du point de tangence : la décroissance du pouvoir émissif aux environs de la normale est un peu plus rapide que par la loi du cosinus, mais les différences étant faibles sont difficiles à apprécier avec précision. Zöllner estime que la loi se rapproche de

$$l_\alpha = c_o \cos^{\frac{8}{7}}\alpha.$$

Mais d'après les mesures du Dr Sumpner on trouverait plutôt $\cos^{1,1}\alpha$. En réalité, d'après

(1) Si on limite à une valeur constante non pas l'aire de la surface diffusante, mais le *flux* reçu par cet écran en plaçant constamment le diaphragme perpendiculairement aux rayons incidents, l'indicatrice d'un diffuseur parfait est une sphère ayant O comme centre.

Digitized by Google

diverses mesures, j'estime que la loi change un peu suivant la nature du papier et je poserai en conséquence aux environs de la normale

$$l_\alpha = e_0 \cos^n \alpha,$$

n étant un exposant compris entre 1 et 2.

3° Si l'on examine maintenant *les indicatrices de transmission* des diffuseurs orthotropes, on constate qu'elles s'écartent aussi du cercle théorique; elles sont bien tangentes à celui-ci au sommet, et se confondent par conséquent avec lui sur une certaine étendue, mais elles s'en écartent vers l'intérieur quand les incidences dépassent une certaine limite. Cela s'explique par l'augmentation de la lumière perdue par diffusion sur la face d'entrée.

Pour le papier (fig. 12, courbe III) on trouve expérimentalement, comme l'a du reste déjà signalé M. Mascart, que le pouvoir émissif varie sensiblement comme le cosinus de l'angle d'incidence tant que celui-ci ne dépasse pas 10°, mais qu'ensuite il diminue assez rapidement (1). On obtient de meilleurs résultats avec le verre opale dépoli sur la face d'entrée (courbe III). L'indicatrice se confond alors avec un cercle sur une étendue correspondant à près de 20° de chaque côté de la normale, et ne s'écarte notablement du cercle que lorsque l'angle d'incidence dépasse 40°.

Lorsque le diffuseur opale est poli du côté de la source ou protégé par un verre, la variation du coefficient de réflexion de la lumière sur la surface d'entrée accroît la variation en vertu de la variation bien connue du coefficient de réflexion sur le verre (formule de Fresnel). Mais cet effet est peu sensible tant que l'angle d'incidence ne dépasse pas 40°. Dans ces limites il y a sensiblement proportionnalité entre le pouvoir émissif du diffuseur et l'*éclairement* de sa face antérieure.

Diffuseurs par réflexion. — On peut caractériser de la même manière les propriétés des diffuseurs par réflexion à l'aide des deux sortes d'indicatrice. On trouve ainsi des propriétés analogues. Les substances parfaitement dépolies, telles que le marbre bien mat, le biscuit de porcelaine, l'émail dépoli, etc., suivent sensiblement la loi du cosinus, surtout pour l'indicatrice de transmission dont la méridienne se confond pratiquement avec un cercle.

L'indicatrice de diffusion également s'écarte peu du cercle aux environs de la normale et on peut la traiter de la même manière que pour les diffuseurs par transparence. On donnera plus loin d'autres détails sur ce sujet à propos de la troisième méthode.

Il résulte de tout ce qui précède qu'un écran diffuseur par transparence ou par réflexion, recevant des rayons lumineux sous un angle α constant ou compris dans des limites déterminées, présente dans la direction d'émission β un pouvoir émissif $\frac{dI_\beta}{ds}$ proportionnel à son éclairement E et à un coefficient qui dépend en général de la nature de la substance et des angles α et β. Autrement dit :

$$e_\alpha = \frac{(dI_\beta)}{ds} = E\, f(\alpha,\beta), \qquad (16)$$

Si la substance est orthotrope et que β ne dépasse pas 20 à 30°, f peut s'écrire sous la forme empirique

$$f(\alpha\beta) = k \cos^n \beta. \qquad (17)$$

n étant compris entre 1 et 2, et k ne dépendant que de α et étant sensiblement constant tant que α ne dépasse pas une certaine limite (à

(1) Cela constitue une objection grave contre les méthodes de mesure de l'éclairement basées sur l'emploi des diffuseurs par transmission (photomètres Weber, Mascart, Kennelly etc.) Dans tous ces appareils on admet en effet que le pouvoir émissif d'un écran diffuseur par transmission est proportionnel à l'éclairement qu'il reçoit, sans tenir compte de l'incidence. Cela n'est exact que si cette incidence est faible ; si l'appareil est éclairé par un grand nombre de sources, comme cela a lieu dans une salle, il y en a forcément plusieurs dont les rayons arrivent très obliquement et par suite l'écran donne des indications plus ou moins inexactes, qui peuvent n'avoir aucun rapport avec la quantité à mesurer. M. Mascart n'a pas laissé ignorer du reste cette difficulté.

Digitized by Google

déterminer expérimentalement pour chaque substance) (1).

Nous allons appliquer ces propriétés dans les méthodes suivantes pour la mesure de la moyenne sphérique.

PREMIÈRE MÉTHODE : MÉTHODE DU DIFFUSEUR PLAN

Théorie. — C'est un cas particulier d'une méthode générale (2) qui permet, moyennant

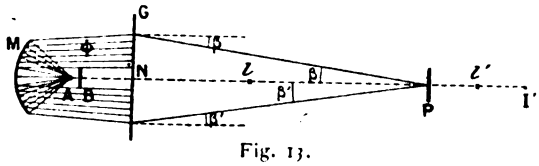


Fig. 13.

quelques précautions, de mesurer un flux de lumière d'origine quelconque et de se faire une idée concrète et numérique de ce flux indépendamment de la source qui le produit. Elle consiste (fig. 13) à projeter le flux sur un écran diffuseur orthotrope plan G par un pro-

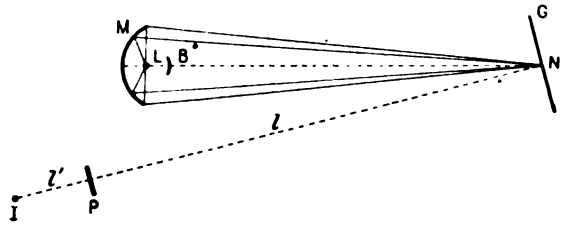


Fig. 14.

cédé convenable et à mesurer l'éclairement produit par cet écran sur un photomètre P (3).

(1) Ces conclusions sont également applicables littéralement aux diffuseurs par réflexion, à la seule condition de supposer l'angle β mesuré sur la face antérieure aussi bien que l'angle α.

(2) Cette méthode a été indiquée dans les Comptes rendus, 11 mars et avril 1895.

(3) Au lieu d'un diffuseur par transmission comme on l'a représenté sur la figure 13, on peut aussi, d'après ce qui précède, employer un diffuseur par réflexion, en plaçant le photomètre en avant (fig. 14); le premier procédé convient mieux aux sources intenses et est le plus commode comme disposition des appareils; on aura à recourir au second pour la mesure des flux faibles, car le pouvoir réflecteur d'un diffuseur bien blanc est supérieur au coefficient de transmission d'un papier, ou d'un verre opale.

Toutes les fois qu'on peut réaliser cette projection sans que les variations d'incidence des rayons sur l'écran et celles de l'angle d'émission des rayons envoyés par celui-ci sur le photomètre dépassent les limites voulues, ce dispositif permet d'obtenir par une simple lecture la valeur totale du flux lumineux reçu.

En effet, d'après la formule (16), chaque élément de l'écran agit par rapport au photomètre comme une petite source dont l'intensité dI_β est proportionnelle à sa surface ds, et à son pouvoir émissif e_β dans la direction du photomètre

$$dI_\beta = e_\beta ds, \qquad (18)$$

et l'éclairement qu'il produit est, en appelant ρ sa distance au photomètre,

$$dE' = \frac{e_\beta ds}{\rho^2}. \qquad (19)$$

L'éclairement total produit par l'écran est donc, en prenant l'intégrale sur toute la surface d'émission,

$$E' = \int \frac{e_\beta ds}{\rho^2}. \qquad (20)$$

Les rayons incidents étant supposés tous compris dans des limites d'incidence telles que les variations de celles-ci soient sans influence, e_β a en chaque point la valeur

$$e_\beta = kE \cos^n \beta,$$

k étant une constante.

D'où

$$E' = k \int \frac{E ds \cos^n \beta}{\rho^2}, \qquad (21)$$

Si l'on s'arrange de manière que la tache éclairée sur l'écran soit assez peu étendue par rapport à la distance du photomètre pour que $\frac{\cos^n \beta}{\rho^2}$ soit sensiblement constant pour tous les rayons reçus par l'instrument, il viendra simplement, en appelant l la valeur constante de ρ et A celle de $\cos^n \beta$,

$$E' = \frac{Ak}{l^2} \int E ds,$$

Digitized by Google

ou, en vertu de la définition même du flux lumineux,

$$E' = \frac{Ak}{l'^2}\Phi. \qquad (22)$$

On comparera cet éclairement à celui que donne un étalon de lumière d'intensité I', en déplaçant par exemple cet étalon jusqu'à une distance l' telle qu'il y ait égalisation des éclairements ; on a alors la relation

$$\frac{I'}{l'^2} = \frac{Ak}{l^2}\Phi.$$

D'où

$$\Phi = \frac{1}{Ak}\frac{l^2}{l'^2}I'. \qquad (23)$$

Le flux est donc déterminé par une opération identique à celle qu'on doit faire pour la mesure d'une intensité lumineuse (1).

Conditions d'exactitude de la méthode. — Pour que la simplification faite en supposant $\frac{\cos^n\beta}{\rho^2}$ égal à une constante $\frac{A}{l^2}$ soit justifiée, il faut que le photomètre soit à une certaine distance de l'écran; il est facile de déterminer la valeur à donner à celle-ci pour être sûr que l'erreur maxima est inférieure à une certaine limite donnée. Prenons par exemple le cas où l'on place le photomètre suivant la normale à l'écran (fig. 13).

Alors

$$\rho = \frac{l}{\cos\beta}.$$

D'où l'expression exacte de E' déduite de la formule (21).

$$E' = \frac{k}{l^2}\int E\,ds\cos^{2+n}\beta. \qquad (25)$$

Pour que l'erreur maxima en un point de l'écran ne dépasse pas une valeur ε, il suffit que β ne dépasse pas la valeur pour laquelle

$$1 - \cos^{2+n}\beta = \varepsilon. \qquad (26)$$

Si cette condition est satisfaite aux bords extrêmes de la tache lumineuse, elle le sera *a fortiori* pour tous les autres points, et l'erreur résultante sera finalement bien inférieure à ε.

Il est facile de voir ainsi qu'il suffit d'une assez faible distance du photomètre pour rendre insignifiants les effets d'obliquité. Prenons en effet $n = 2$, ce qui est un maximum pour tous les diffuseurs aux environs de la normale, et supposons que la tache éclairée ait une forme circulaire de diamètre d. Pour limiter l'erreur à 1 p. 100 sur les *bords* de la tache, où l'angle est β_0, il suffit que

$$1 - \cos^4\beta_0 < 0{,}01, \qquad (27)$$

ou

$$\beta_0 < 4°,$$

ce qui correspond environ à

$$l = 7{,}5\,d.$$

Si la tache au lieu d'être circulaire forme un anneau très étroit, il n'est pas nécessaire de satisfaire à la condition (27) ; il suffit, en appelant β_0 et β_1, les angles extrêmes qu'on ait

$$\cos^4\beta_1 - \cos^4\beta_0 < \varepsilon,$$

à condition de prendre un coefficient d'émission moyen compris entre les valeurs extrêmes e_{β_0} et e_{β_1}.

En outre, pour que la méthode soit exacte, il faut que l'angle d'incidence varie assez peu pour qu'on ait bien le droit de supposer k constant. Il en sera ainsi sûrement si l'on emploie un diffuseur opale dépoli avec une incidence comprise entre — 20° et + 20°, (cas auquel k est rigoureusement constant), ou un diffuseur réfléchissant en marbre, biscuit, papier buvard, peinture de magnésie blanche, etc., sous une incidence quelconque (sauf vérification des propriétés de l'écran).

Dans le cas du papier diffusant par transmission, k ne peut être supposé constant quand

(1) Si l'on a taré l'écran et le photomètre, en mesurant la valeur I'_0 à laquelle il faut placer l'étalon lorsque le flux Φ est égal à un flux connu Φ_0, on aura

$$\Phi_0 = \frac{1}{Ak}\frac{l^2}{l'^2_0}I',$$

D'où

$$\Phi = \frac{l'^2_0}{l^2}\Phi_0. \qquad (24)$$

Par suite, le banc photométrique peut être gradué directement en lumens si on le désire.

Digitized by Google

l'incidence varie, et l'on doit en général poser.

$$k = k_0 \cos^2\alpha.$$

Pour que l'erreur relative de ce chef ne dépasse pas ε, il faut que α reste compris entre deux limites α_1 et α_2 telles que

$$\cos^2\alpha_1 - \cos^2\alpha_2 \leqslant \varepsilon.$$

Nous supposerons dans ce qui va suivre que l'on s'est arrangé de façon que k soit rigoureusement constant.

Application à la mesure de l'intensité moyenne sphérique d'une source de lumière. — Pour appliquer les principes précédents à la solution du problème qui nous occupe, il

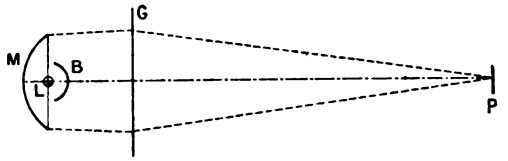


Fig. 15.

suffit de recueillir tout le flux lumineux produit par la source (ou une fraction déterminée de ce flux) et de l'envoyer sur l'écran diffuseur sous une incidence sensiblement constante. L'idée qui se présente naturellement à l'esprit pour réaliser cet effet est de placer la source à photométrer au foyer d'un projecteur M, (fig. 15) en construisant celui-ci de façon que ce foyer se trouve dans le plan même d'ouverture (1), comme le montre la figure ; un écran opaque B, auquel on peut donner des dimensions très faibles, arrête les rayons directs. On recueille ainsi la moitié du flux ; et en faisant tourner ensuite la source de 180° autour de la verticale du foyer, on peut obtenir l'autre moitié par une seconde lecture, déduction faite chaque fois, de l'absorption du miroir.

(1) En réalité il n'est pas nécessaire que la lampe soit au foyer du projecteur ; l'essentiel, c'est qu'elle soit dans le plan d'ouverture ; une légère convergence ou divergence des rayons est en effet sans inconvénient tant que l'angle d'incidence sur l'écran ne dépasse pas la limite fixée ci-dessus. On peut donc employer une calotte sphérique, elliptique, parabolique, etc., pourvu que cette condition soit remplie.

Mais en pratique ce procédé ne peut être exact que si tous les rayons recueillis ont subi dans ce parcours une perte égale (1) ; or il n'en est pas ainsi en général pour les réflecteurs, par cette raison que le coefficient de réflexion varie notablement avec l'angle d'incidence, et que dans des mesures de précision on ne peut négliger cette variation. J'ai examiné à ce point de vue les divers types de réflecteurs réalisables : les métaux sont trop altérables (2) et donnent d'ailleurs de grandes variations de pouvoir réflecteur avec l'incidence ; le verre

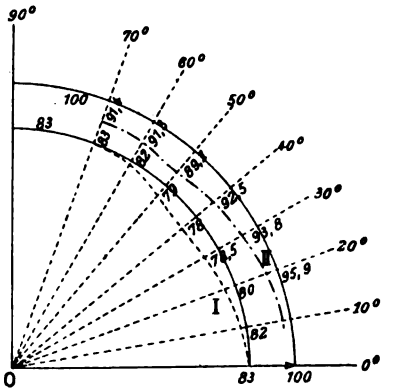


Fig. 16.

noir, bien qu'inaltérable, subit encore de grandes variations du pouvoir réflecteur au delà de 45°, et celui-ci est d'ailleurs beaucoup trop faible pour la plupart des applications (3).

En pratique le seul réflecteur à employer est le miroir en verre argenté (4), inaltérable lors-

(1) Pour ce motif on ne peut songer à employer des dispositifs où une partie des rayons tomberait *directement* sur l'écran, tandis que le reste serait réfléchi ; même on doit laisser de côté les projecteurs dioptriques à échelons, dont le coefficient de transmission est mal déterminé et varie beaucoup d'un anneau à l'autre. On verra plus loin qu'on peut y recourir cependant en se limitant à un seul anneau.

(2) Un premier instrument que j'ai fait construire en 1892 par M. Guichard, en cuivre plaqué d'argent, n'a pas donné de bons résultats à cause de la difficulté d'entretenir un poli égal.

(3) Sans cela, ce serait une assez bonne solution qu'un miroir elliptique ou parabolique en verre noir dont l'angle d'incidence ne dépasserait pas 45° à 50°.

(4) On verra plus loin qu'on peut aussi dans certains cas remplacer le miroir par un diffuseur conique ; c'est ce qui constitue la troisième méthode.

Digitized by Google

qu'on ne le soumet pas à des échauffements exagérés. Mais le pouvoir réflecteur varie en général encore beaucoup avec l'incidence. On trouve par exemple pour une qualité ordinaire de glace argentée les résultats consignés sur la figure 16, courbe I ; j'ai tracé aussi comparativement une courbe II déduite des expériences de M. Uppenborn à la commission de Francfort. Les variations pour ces échantillons dépassent 6 p. 100 entre 0 et 70°.

Lumen-mètre à miroir. — Pour faire disparaître cette cause d'erreur, j'ai eu recours à un artifice très simple qui consiste à réduire la partie utilisée du projecteur seulement à une zone, présentant une étendue assez faible pour

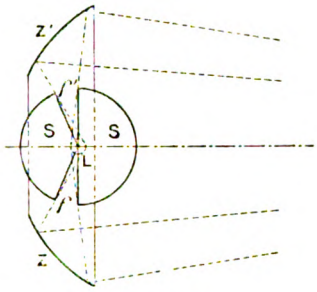


Fig. 17.

que l'angle d'incidence soit presque constant. Il n'est plus possible alors de recueillir la moitié du flux comme dans le dispositif de la figure 15, mais seulement une fraction de celui-ci, qui doit-être bien définie. Ce résultat est obtenu, comme le montre la figure schématique 17, en entourant la source de lumière L d'une sphère opaque SS' noircie intérieurement, ayant son centre sur l'axe optique et munie de deux ouvertures en forme de *fuseaux* symétriques *ff'*, limités à deux plans diamétraux verticaux. Les deux flux opposés qui sortent par ces deux fuseaux sont renvoyés sur l'écran diffuseur par la zone réfléchissante ZZ'. Quant à celle-ci, diverses considérations m'ont conduit à lui donner de préférence (bien que cela ne soit pas nécessaire) la forme d'une zone d'ellipsoïde de révolution, ayant pour foyers le centre de la sphère creuse et un point situé à 3 mètres de distance; en plaçant l'écran en ce point, on réalise, grâce à cette disposition, une tache de très faible dimension qui permet de se contenter d'un faible recul pour le photomètre, par rapport auquel elle joue le rôle de source de lumière à mesurer. L'angle de chacun des deux fuseaux étant de 18°, il faudrait dix mesures successives pour étudier tout le flux par parties (1); mais lorsque

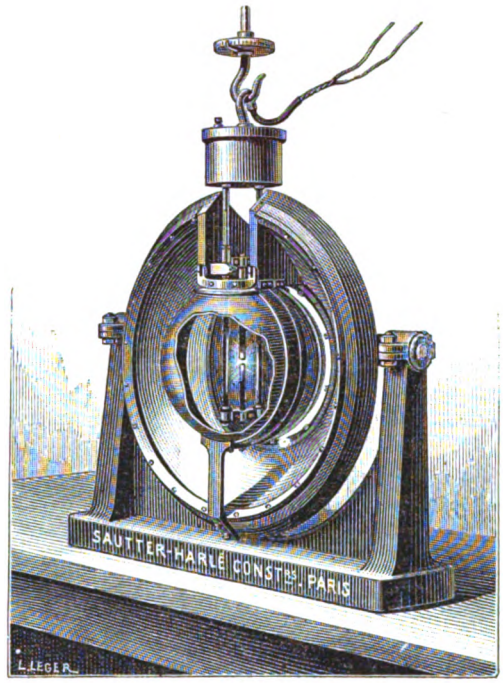


Fig. 18.

la source est de révolution, ou à peu près, autour d'un axe vertical, on peut se contenter de deux mesures prises à angles droits, (ce qui fait en réalité quatre fuseaux). L'emploi simultané de deux fuseaux opposés est d'ailleurs une grande garantie d'exactitude pour la mesure des lampes à arc.

Le lumen-mètre à miroir est représenté en coupe verticale par la figure 19 et en perspective par la figure 18, qui en explique suffisamment le mode de construction; l'ouverture réservée à sa partie supérieure, et dont l'in-

(1) Une seule mesure suffit quand on peut imprimer à la source un mouvement de rotation rapide, comme on l'a vu au chapitre II.

Digitized by Google

fluence est négligeable, sert à l'introduction des lampes par le haut (ou par le bas, lorsqu'on retourne l'appareil); une potence permet de suspendre les lampes à arc dans la position convenable; pour faciliter l'introduction des foyers à étudier, une partie de la demi-sphère antérieure est amovible. On remarquera que celle-ci évite toute lumière parasite dans la salle photométrique, ce qui est extrêmement important quand on veut faire des mesures précises.

L'exécution de cet instrument, dont les dimensions dépassent celles des instruments de physique ordinaires (1), présentait de sérieuses difficultés; elle a pu être menée à bien cependant, grâce au précieux concours de MM. Sautter et Harlé, qui, malgré le caractère purement scientifique de l'appareil, ont bien voulu se charger de le construire à leurs frais dans leurs ateliers et auront ainsi permis à cette nouvelle méthode d'entrer dans le domaine de la pratique.

Mode d'emploi du lumen-mètre à miroir. — Le mode d'emploi du lumen-mètre à miroir est des plus simples. On place la source à photométrer au centre de la sphère, ce dont il est facile de s'assurer grâce à la forme demi-cylindrique de l'ouverture destinée à l'introduction des lampes; on vérifie du reste aisément, en regardant le miroir, que la source est bien dans le plan diamétral commun aux deux fuseaux; on peut sans inconvénient déplacer un peu la source en hauteur sur l'axe vertical passant par le centre de la sphère, car le flux qui passe par les fuseaux reste dans tous les cas égal au 1/10 du flux total émis par la source; cette remarque facilite beaucoup l'emploi de l'appareil et montre que, quand on mesure des arcs, il n'y a pas à se préoccuper du déplacement du foyer lumineux par l'usure des charbons.

L'écran diffuseur, en verre opale ou en papier emprisonné entre deux verres, porté par un châssis vertical en bois muni de pieds, a une dimension de 1 m², plus que suffisante pour toutes les mesures; il est disposé près du foyer conjugué de l'appareil, et le photomètre est placé à la distance voulue d'après les dimensions de la tache d'éclairement. Celle-ci est environ 15 fois plus grande que la plus grande dimension de la source de lumière, de sorte qu'une lampe à arc ordinaire ne donne guère qu'une tache de 15 centimètres; et il suffit de placer le photomètre à quelques mètres pour éviter toute erreur provenant de l'obliquité des rayons diffusés.

L'écran diffusant par transmission peut être remplacé par un écran diffusant par réflexion, tel que le verre opale dépoli, le papier buvard ou mat, la tôle émaillée dépolie, etc. (fig. 14.)

Le photomètre employé peut être des types Bunsen, Foucault, Cornu, etc...; dans tous les cas il reste immobile, et si l'on déplace quelque chose, c'est la source de comparaison. L'instrument le plus convenable et le plus précis pour cette application est le photomètre universel Blondel-Broca, construit par M. Pellin.

On remarquera en terminant que le lumen-mètre permet également bien la mesure de l'intensité moyenne hémisphérique; il suffit pour cela de masquer par une demi-sphère opaque la moitié de l'ouverture des fuseaux.

(*A suivre.*) ANDRÉ BLONDEL.

(1) Le diamètre extérieur du miroir est de 0 m. 60 et l'appareil à près de 1 m. de hauteur.

MESURE DES DISTANCES EXPLOSIVES

DANS LES EXPÉRIENCES DE HERTZ

AVEC UN MICROMÈTRE DISSYMÉTRIQUE

Dans les expériences que j'ai faites sur la nature du mouvement qui, émané d'un oscillateur Blondlot, se propage le long de fils métalliques, j'ai employé pour mesurer la différence de potentiel entre deux fils un micromètre à étincelles dissymétrique, formé d'une plaque fixe et d'une pointe mobile.

L'expérience était disposée suivant la figure 1.

Digitized by Google

Le mouvement parti des deux bornes A, B de l'oscillateur *excité par une machine de Holtz* M suivait, d'une part, une ligne en cuivre comportant un pont P et de l'autre un grand circuit en fer C dont le rôle est le suivant : Les deux déformations émanées de A et de B produisent au point où elles se rencontrent, des phénomènes d'interférence dont il était indispensable d'éviter la production aux bornes p et q du micromètre pour obtenir en ces points un phénomène net. La différence de potentiel entre ces points devait être due en effet dans ces expériences uniquement au mou-

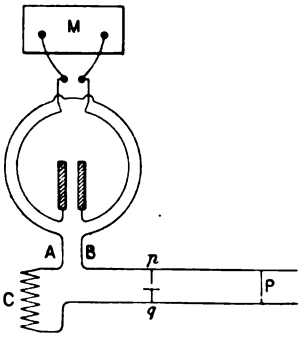


Fig. 1.

vement amorti qui, issu de l'une des 2 bornes A et B, suit le conducteur. Il suffit, pour que cette condition soit réalisée, que, lorsque tout mouvement dû à B a cessé en q, le mouvement dû à A y parvienne seulement; c'est là le rôle principal de ce circuit qui joue aussi, sans doute, un peu le rôle d'amortisseur, étant constitué par du fil de fer.

Il est remarquable que, au début des expériences faites (1), j'ai trouvé, comme courbe représentant les distances explosives d en fonction de la distance $p\,P\,q = x$, une courbe ne présentant pas de portions rectilignes (fig. 2). Ce fait surprenant, puisqu'il est en désaccord avec la forme théorique (fig. 3) et avec les résultats obtenus par d'autres expérimentateurs m'a été signalé par M. H. Poincaré. Il est dû uniquement à la dissymétrie de l'appareil employé, et j'ajouterai, qu'en lui-même, il constitue un fait heureux, car pour le calcul de l'amortissement de l'oscillateur, l'un des buts que je m'étais proposés, il permet de tenir compte d'un nombre double de données et de déterminer plus exactement, par suite, la lon-

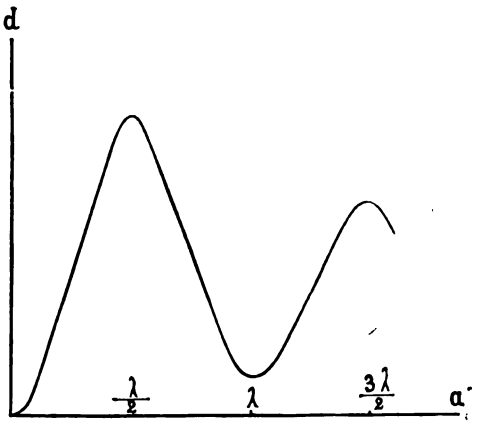


Fig. 2.

gueur d'onde et le coefficient d'amortissement.

La distance explosive correspondant dans un semblable micromètre à une différence de potentiel donnée V, n'est pas la même suivant que la pointe est positive ou négative, plus grande dans le premier cas que dans le

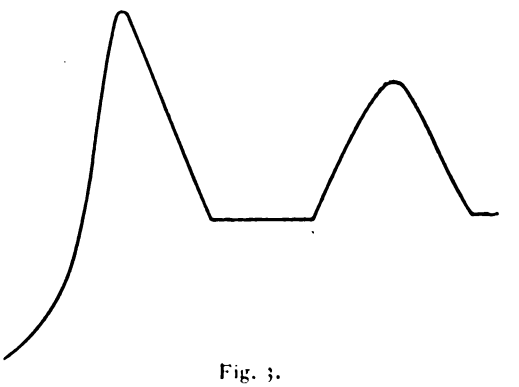


Fig. 3.

second. J'ai vérifié ce fait à l'aide d'une machine statique et d'un électromètre absolu Bichat-Blondlot. Il est vrai que le phénomène obtenu dans ce cas entièrement statique au point de vue de la charge, doit être très différent de celui que produit l'étincelle formée par les oscillations de Hertz; on conçoit cepen-

(1) Voir *Comptes rendus* t. CXIV, p. 283. et *Annales de la Faculté des Sciences* de Marseille, t. II, fasc. 4.

Digitized by Google

dant que la dissymétrie observée dans un cas subsiste dans l'autre.

J'ai donc entrepris une série d'expériences

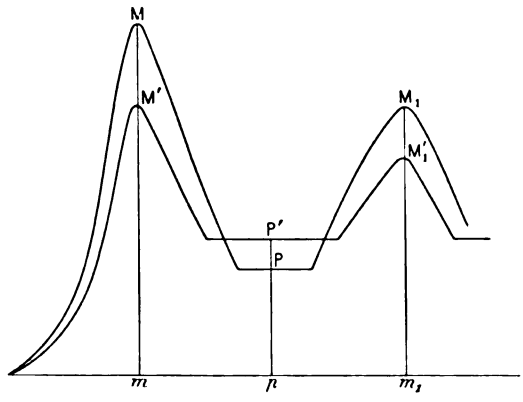


Fig. 4.

doubles comprenant des mesures de distances explosives, la pointe étant successivement reliée aux points p et q. Les résultats dépendent essentiellement de l'amortissement du mouvement. Si le coefficient α de l'expression $V = e^{-\alpha t} \sin 2\pi \frac{t}{T}$, a une valeur relativement grande, l'une des dispositions ne donnera pas de palier dans la courbe, l'autre en donnant un, tandis que si le mouvement est très peu amorti, on aura un palier dans chaque courbe, les deux paliers ne correspondant pas à la même ordonnée.

La figure 3 représente la courbe qu'on

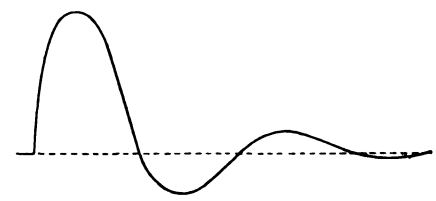


Fig. 5.

obtiendrait avec un micromètre symétrique la figure 4 les deux courbes obtenues par la méthode ci-dessus indiquée.

Il est facile de donner l'explication de ces faits.

Nous prendrons pour zéro des potentiels dans ce qui va suivre, le potentiel du point q, à chaque instant.

Pour une position donnée du pont; caractérisée par une longueur $p\,P\,q = x$, le potentiel en p est la différence entre la courbe repré-

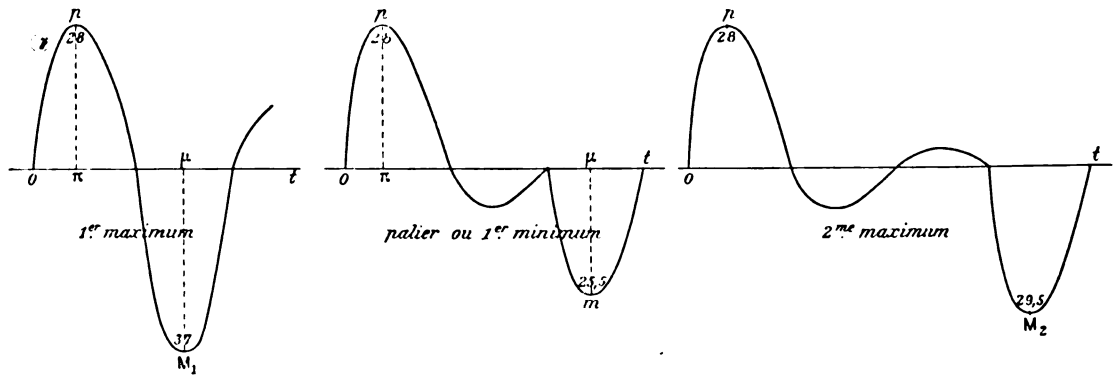


Fig. 6.

sentant l'ondulation en fonction du temps (fig. 5), et cette même courbe dont le zéro est déplacé vers la droite d'une longueur x. Les formules ne peuvent donner le même résultat que la construction graphique, car en réalité pour les valeurs négatives de l'expression sous le signe sinus la quantité est nulle, tandis qu'algébriquement elle ne l'est pas.

On trouvera figure 6 les courbes représentatives des potentiels en q pour les positions du pont correspondant aux premier maximum, palier ou minimum, deuxième maximum. Elles ont été construites en partant de la fonction $V = A\, e^{-\alpha t} \sin 2\pi \frac{t}{T}$ avec la condition $e^{-\frac{\alpha T}{2}} = 0{,}30$, valeur trouvée dans des recherches anciennes.

Supposons la pointe en q, alors, pour toutes

Digitized by Google

les ordonnées positives, la pointe sera négative, et le potentiel sera relié à la distance explosive d par

$$V = K\sqrt{d} \quad \text{ou} \quad \sqrt{d} = \frac{V}{K};$$

pour toutes les ordonnées négatives, la relation donnant le potentiel sera

$$V = K'\sqrt{d} \quad \sqrt{d} = \frac{V}{K'},$$

avec $K > K'$

Pour la première position figurée à l'époque π. la distance explosive sera :

$$\sqrt{d} = \frac{28}{K}.$$

et à l'époque μ,

$$\sqrt{d'} = \frac{37}{K'}.$$

pour la deuxième position on aura à l'époque π,

$$\sqrt{d} = \frac{28}{K},$$

et à l'époque μ,

$$\sqrt{d'} = \frac{25,5}{K'}.$$

Il pourra arriver dans ce cas que d' soit supérieur à d; on n'aura alors pas de palier, il suffira d'ailleurs pour que ce fait se produise que $\frac{K}{K'}$ soit supérieur à $\frac{28}{25,5}$ ou à 1,1 environ. Il en résulte que le rapport des distances explosives mesurées en laissant le pont fixe et reliant successivement la pointe à q puis à p, doit, si l'on n'a pas de palier être supérieure à 1,21 carré de 1,1.

Fig. 7.

Si la pointe est reliée à p, les conclusions précédentes devront être renversées, et la courbe pourra même se présenter sous la forme de la figure 7; en effet si $\frac{28}{K'} > \frac{29,5}{K}$, le deuxième maximum n'apparaîtra pas, la courbe ne se relèvera pas. On aura alors

$$\frac{K}{K'} > \frac{29,5}{28} \quad \text{soit} \quad \frac{K}{K'} > 1,054.$$

D'où le rapport des distances explosives supérieur à $(1,054)^2$ c'est-à-dire à 1,11.

Si ces déductions sont exactes, le rapport des ordonnées des points M, M'; P, P'; M_1, M'_1 des points des courbes de la figure 4 doit être constant. Or on a :

$$\frac{Mm}{M'm} = \frac{95}{75} = 1,26 \; ; \; \frac{P'p}{Pp} = \frac{38,5}{31} = 1,24 \; \frac{M_1m_1}{M'_1m} = \frac{76}{62} = 1,24.$$

On voit que la vérification est très satisfaisante, et que le chiffre trouvé pour le rapport, 1,24, est très voisin de celui qui a été trouvé suffisant pour faire disparaître le palier dans un cas de l'exemple ci-dessus et pour effacer toute courbe après le maximum dans l'autre.

Dans tous les calculs faits dans les mémoires précédents je n'ai fait entrer en ligne de compte que les courbes présentant les maximums et minimums bien nets, c'est-à-dire des courbes sans palier.

A. PEROT,
Professeur d'Électricité industrielle
à la Faculté des sciences de Marseille.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Accumulateur Griffin (1895)

Le cadre de cet accumulateur est constitué par un quadrillage de barres 1^a 1^b (fig. 1), horizontales et verticales, soudées entre elles et ondulées de manière à former une série d'alvéoles ou de cellules, que l'on remplit de la matière active 4 ainsi très largement en rapport avec le liquide de la pile.

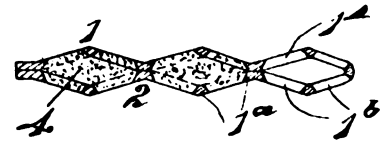


Fig. 1. — Accumulateur Griffin.

G. R.

Digitized by Google

Electrolyseur domestique Hermite Paterson et Cooper (1894)

Chaque élément se compose (fig. 1 et 2) d'un tube de zinc ou de fer galvanisé A, constituant l'une des électrodes, et renfermant le fil de platine B, qui constitue l'autre électrode. Ces éléments aboutissent par des tubes isolants *a* au tuyau d'amenée commun C, et se déchargent

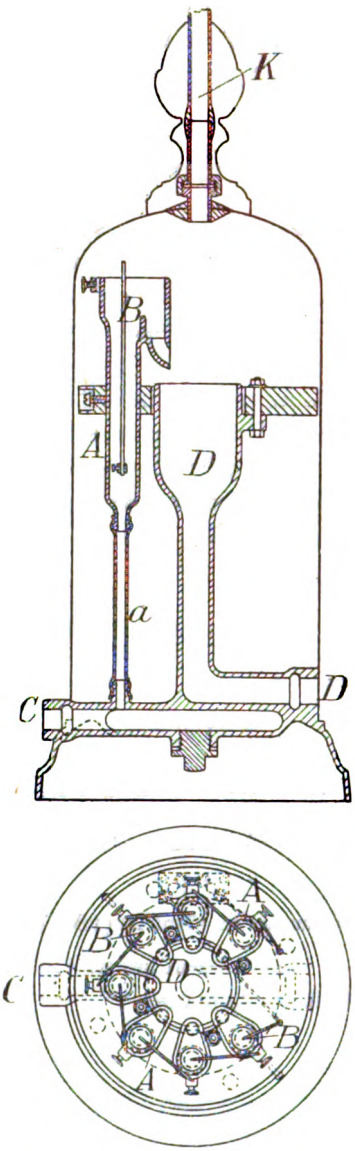


Fig. 1 et 2. — Électrolyseur Hermite Paterson et Cooper. Coupe verticale et horizontale.

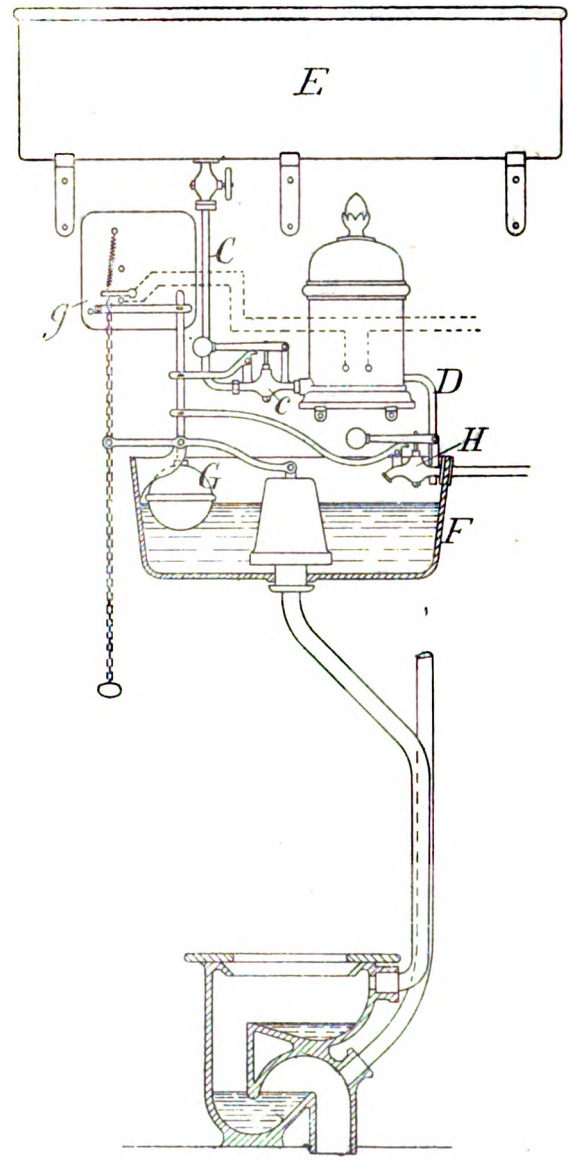


Fig. 3. — Électrolyseur Hermite Paterson et Cooper. Schéma de la disposition d'ensemble.

en D : en outre, ils sont reliés en série : le premier tube A au pôle négatif et le dernier fil B au pôle positif du circuit. La dissolution de chlorure de sodium — de l'eau de mer si l'on veut — renfermée dans le réservoir E (fig 3), arrive par C aux tubes A, et le liquide électrolysé va de D au baquet distributeur F, à flotteur G. Au repos, ce flotteur ferme l'admission du liquide électrolysé en C, et celle de l'eau ordinaire en H, en même temps qu'il

Digitized by Google

coupe le circuit en *g*. Quand on tire la chaînette on ouvre *c* et H, et l'on rétablit le courant. Les gaz de l'électrolyse s'évacuent par K.

G. R.

Câbles Siemens et Diesclhorst (1894)

Le conducteur en cuivre, recouvert d'abord de papier, l'est ensuite d'un isolant spécial composé d'un mélange de 20 parties de caoutchouc, 75 de chaux avec 5 p. 100 de paraffine ou de cérésine sans soufre. Cet isolant est laminé en feuilles, que l'on découpe ensuite en bandes enroulées en plusieurs couches sur le papier de manière à pouvoir résister aux tensions les plus élevées. Le tout est ensuite protégé par une enveloppe de plomb. G. R.

Pile Shoenmehl et Platt (1895).

La principale particularité de cette pile zinc-charbon est que ses charbons 7 (fig. 1 et 2) sont maintenus autour du zinc central 3 par un anneau de plomb 9, coulé autour de leurs extrémités dans le couvercle en porcelaine 2 de la pile, et mis ainsi à l'abri des chocs et des oxydations. C'est une disposition simple et robuste.

G. R.

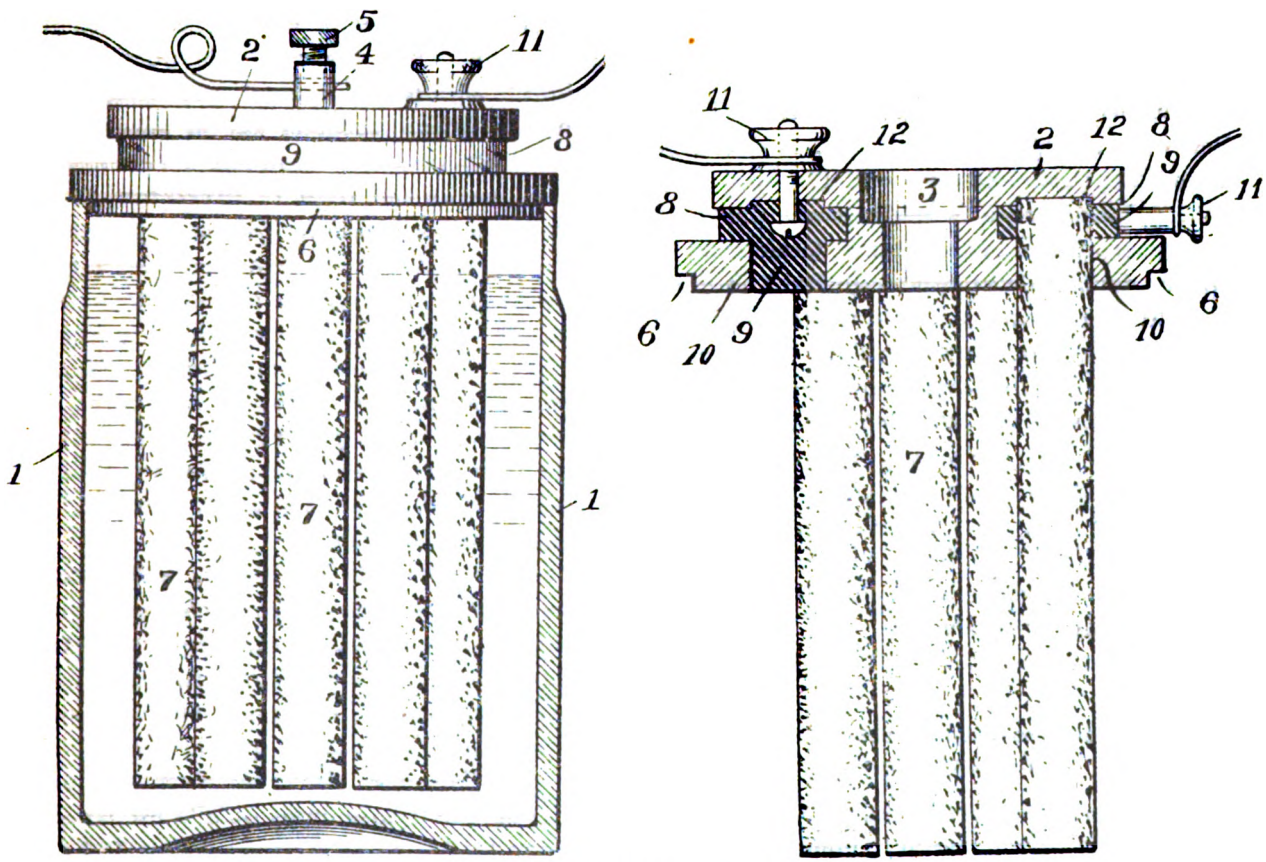


Fig. 1 et 2. — Pile Shoenmehl et Plat.

Digitized by Google

Détermination de la conductibilité des corps mauvais conducteurs.

L'*Electrical Engineer*, de New-York, résume en ces termes un Mémoire récemment présenté par le professeur J.-J. Houston à la *Philosophical Society* sur ce sujet :

On dispose à l'intérieur d'une bobine A que l'on fait traverser par des courants alternatifs de très grande fréquence une sphère de la matière dont on cherche à déterminer la conductibilité. Les courants induits dans la sphère réagissent sur ceux dont la bobine est le siège. Une autre petite bobine B montée en série sur A renferme une ampoule dans laquelle on a fait un vide aussi parfait que possible et où les courants alternatifs produisent une décharge annulaire. Toute modification dans l'intensité des courants parcourant A donne lieu à un changement d'éclat de la décharge dans l'ampoule intérieure à B. L'action de la sphère intérieure à A est mesurée par cette différence d'éclat, et, comme l'action de la sphère dépend de sa conductibilité, l'observation des changements d'éclat ci-dessus permet de comparer les conductibilités de diverses substances. Le Mémoire en question renferme des applications de cette méthode à l'étude de la conductibilité d'électrolytes sous des courants alternatifs de très grande fréquence, de gaz raréfiés, de gaz au moment où ils entrent en combinaison chimique, de flammes, et de l'effet de la formation de gouttelettes d'eau dans une vapeur aqueuse.

E. B.

Température des filaments de lampes à incandescence.

Le professeur Weber a donné dernièrement les résultats d'un certain nombre d'expériences poursuivies par lui en vue de déterminer les températures des filaments dans les lampes à incandescence. Il a trouvé que la température normale pour toutes les lampes à incandescence, quelles qu'elles soient, est sensiblement la même et se trouve comprise entre 1565 et 1588° C. Pour certaines lampes donnant une lumière très brillante, c'est-à-dire à très gros filaments, la température est de 40° plus élevée.

E. B.

Variation séculaire du magnétisme terrestre.

On trouve dans une récente publication du Dr L.-A. Bauer intitulée « Contribution à l'étude de la variation séculaire du magnétisme terrestre » (Discours d'inauguration à l'Université de Berlin) quelques données aussi importantes qu'intéressantes au point de vue de ce qu'on sait de ce phénomène énigmatique du magnétisme terrestre.

L'auteur a construit la courbe réelle décrite au cours des siècles par le pôle nord d'une « aiguille aimantée librement suspendue » en 24 points divers répartis sur la surface du globe. Cette courbe l'a conduit à l'établissement d'une loi qui régit la *direction* de la courbe et qu'il revendique comme la première fournie jusqu'ici en ce qui concerne la variation séculaire appliquée à tout le globe terrestre. Cette loi peut s'énoncer de la manière suivante : Le pôle nord d'une aiguille aimantée librement suspendue et vue de son point de suspension, se meut, par suite de la variation séculaire du magnétisme terrestre sur toute la surface du globe, dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre.

Au point de vue de la période, le Dr Bauer estime qu'il n'est pas encore prouvé qu'il y ait réellement une variation séculaire commune à toute la terre. Le seul indice qui, suivant lui permette de déduire l'existence d'une période commune est l'hypothèse que la courbe décrite par l'aiguille aimantée n'est pas une courbe unique fermée, mais qu'elle est constituée par des boucles. Des apparences de boucles de cette nature se manifestent, dit-il, à diverses stations.

Il établit également dans son travail une comparaison entre la variation séculaire et la distribution temporaire du magnétisme terrestre.

Il y suit une onde séculaire autour de la

Digitized by Google

terre à l'aide des projections de courbes. Il semble qu'on obtienne une continuation de la courbe séculaire en faisant le tour de la terre dans le sens ouest-est. Le fait ainsi révélé aurait, dit l'auteur, pour conséquence immédiate que, si l'on poursuivait des observations suivant un parallèle en allant vers l'est, on constaterait un mouvement de l'aiguille aimantée semblable à celui que donne la variation séculaire. Le Dr Bauer a contrôlé cette idée pour trois années, 1780, 1829 et 1885, le long de plusieurs parallèles. La projection des courbes décrites par l'aiguille est donnée sur une planche spéciale. Elle montre que dans tous les cas le pôle nord de l'aiguille, vue de son milieu, se meut comme les aiguilles d'une montre. De plus, la comparaison de deux séries de courbes, afférentes aux variations séculaire et temporaire, paraît indiquer qu'elles obéissent toutes deux aux mêmes lois.

E. B.

Prédétermination de la chute de potentiel dans les transformateurs, par G. Kapp (1).

La détermination directe de la chute de potentiel est particulièrement difficile dans le cas des gros transformateurs. En premier lieu, il faut avoir à sa disposition une force motrice considérable, ensuite il faut employer une résistance ou un autre appareil capable d'absorber de grandes quantités d'énergie, et enfin, il est nécessaire de connaître le décalage de phase dans le circuit secondaire. Toutes ces conditions étant remplies, la mesure directe donne bien la chute de potentiel pour ce décalage particulier, mais non pour les autres valeurs de ce dernier.

La méthode décrite par M. Kapp permet, à l'aide d'une expérience très simple, qui ne nécessite qu'une source de force motrice peu puissante et pas de rhéostat, de déterminer à l'avance la chute de potentiel pour toutes les charges et toutes les valeurs positives et négatives du décalage.

(1) Communication faite à la Société électrotechnique de Berlin.

Le principe de la méthode est, en ayant recours aux procédés graphiques, le suivant : Soit OA (fig. 1) le vecteur du courant dans l'enroulement secondaire et OE_1 le vecteur de la différence de potentiel secondaire, φ étant le décalage de phase dû à l'induction dans le circuit extérieur. Si le circuit extérieur, au lieu d'être inductif, présentait de la capacité, φ serait négatif, c'est-à-dire que OE_1 se trouverait de l'autre côté de OA.

La force électromotrice induite dans le secondaire doit contenir trois composantes :

1° La composante OE_1;

2° Une composante fournissant la perte en

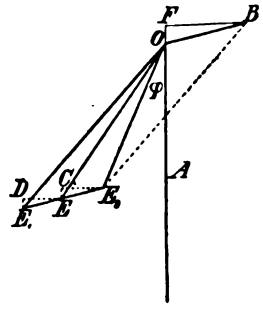


Fig. 1.

volts ohmique, et coïncidant en orientation avec OA;

3° Une composante faisant équilibre à la force électromotrice de self-induction, et représentée sur le diagramme par un vecteur horizontal orienté à gauche.

Si ces deux dernières composantes sont représentées par CE et E_1C, le vecteur de la force électromotrice induite est représentée par OE. La même construction peut être effectuée pour le primaire en partant du vecteur OE. Pour ne pas être obligé de prolonger ce vecteur en proportion du rapport de transformation m, nous supposerons la bobine primaire divisée en sections reliées entre elles de manière que m fils se trouvent en parallèle. La tension primaire est alors divisée par m, la résistance primaire par m_1 et le courant primaire est multiplié par m. Le rapport de transformation devient l'unité et les deux enroulements possèdent le même nombre de tours.

Digitized by Google

Le vecteur OE donne donc maintenant la force électromotrice induite dans l'un et l'autre circuit. La différence de potentiel primaire doit contenir trois composantes : 1° OE ; 2° la composante de la perte ohmique ; 3° la composante équilibrant la force électromotrice de self-induction. Grandeur et direction de ces vecteurs dépendent naturellement du vecteur du courant primaire. Or, dans les transformateurs à circuit magnétique fermé le vecteur du courant primaire se trouve presque exactement dans le prolongement de celui du courant secondaire, parce que les ampères-tours d'excitation sont négligeables devant la totalité des ampères-tours de chaque circuit. Nous pouvons donc sans erreur appréciable admettre que dans le diagramme (fig. 1) le vecteur du courant primaire est vertical. Dans ce cas, le vecteur de la perte ohmique doit également être vertical et celui de la force électromotrice de self-induction horizontal.

Soient DE_1 et ED ces deux vecteurs. Il vient alors OE_1 comme vecteur de la différence de potentiel primaire. La situation réciproque des points E_2 et E_1 ne dépend que de l'intensité de courant primaire, des résistances et des forces électromotrices de self-induction. Elle n'est pas affectée par la différence de phase et la différence de potentiel secondaire. La distance $E_1 E_2$ est directement proportionnelle à l'intensité de courant, tandis que l'inclinaison de cette ligne dépend de la résistance et de l'inductance. Si nous faisons OB égal et parallèle à $E_1 E_2$, nous avons en BE_2 et en OE_2 les différences de potentiel primaire et secondaire correspondant à l'intensité de courant pour laquelle OB est la force électromotrice nécessoire pour vaincre la résistance et l'inductance.

Cette force électromotrice peut se déterminer facilement par l'expérience suivante. On ferme le circuit secondaire du transformateur en court circuit sur un ampèremètre, et on fournit au primaire un courant de période normale et d'une tension telle que l'ampèremètre indique l'intensité secondaire normale. La puissance nécessaire est très faible, car elle n'a à fournir que la perte ohmique dans les deux circuits. En divisant par m la tension primaire ainsi déterminée, nous obtenons la longueur OB. L'orientation de OB s'obtient en portant verticalement la perte en volts ohmique déduite des résistances.

Soit, dans la figure 2, OF ce vecteur. FB représente alors la force électromotrice de self-induction pour le courant observé. Comme OB est proportionnel à l'intensité de courant, à circuit ouvert, B coïncide avec O et E_1 avec E_2 (fig. 1) ; c'est-à-dire que les différences de

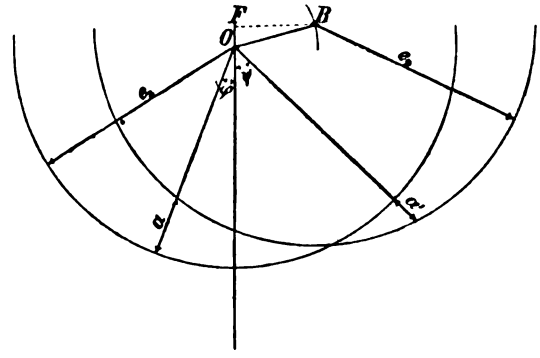


Fig. 2.

potentiel primaire et secondaire sont alors égales (le rapport de transformation admis étant 1).

Si donc on décrit (fig. 2) autour des points O et B comme centres des cercles ayant pour rayon la différence de potentiel secondaire à circuit ouvert, on voit immédiatement que pour un vecteur quelconque la partie a comprise entre les deux cercles représente la chute de potentiel correspondant à la différence de phase φ indiquée par l'orientation de ce vecteur. Pour le cas d'une différence de phase négative, ψ, le segment a' peut se trouver dans le prolongement du rayon. Pour une certaine avance de phase du courant correspondant au point d'intersection des deux cercles, la chute de potentiel est nulle.

Pour d'autres intensités de courant, le point B doit être déplacé le long de OB, mais les rayons des cercles restent les mêmes. Quand dans l'essai d'un transformateur on emploie un rhéostat à liquide, on introduit de la capacité dans le

Digitized by Google

circuit; la phase du courant est donc avancée et la mesure directe donne une chute de potentiel trop faible; dans certains cas même, la mesure peut indiquer une augmentation de potentiel et conduire à une appréciation erronée des propriétés du transformateur.

La construction graphique (fig. 2) donne aussi des indications relatives à l'influence de la fréquence. En admettant que la disposition des circuits comporte dans tous les cas la plus faible dispersion magnétique possible, le point B se rapproche de F à mesure que la fréquence diminue, et lorsque le transformateur alimente des circuits inductifs, la chute de potentiel diminue avec la fréquence. Comme il est désirable de réduire la chute de potentiel, il convient de choisir de basses fréquences.

Pour fixer la chute de potentiel admissible, M. Kapp propose que l'on spécifie la tension primaire produisant en court circuit le courant secondaire normal. Cette condition est facile à vérifier et suffit entièrement à caractériser un transformateur.

M. Dolivo-Dobrowolsky a eu l'occasion d'appliquer la méthode Kapp à un transformateur de 10 kilowatts construit pour 50 périodes par seconde et pour un rapport de transformation de 2000 à 120; le poids total de l'appareil est de 300 kg. La perte à vide est un peu inférieure à 2 1/2 p. 100 de la puissance normale, tandis que la perte ohmique est de 2 p. 100. Ce dernier chiffre représenterait aussi la chute de potentiel, si la dispersion des lignes de force n'intervenait pas en charge.

Pour essayer la nouvelle méthode, on a mesuré le voltage qu'il fallait appliquer à l'enroulement primaire (2 000 volts), pour engendrer dans le secondaire en court circuit l'intensité normale. Cette tension fut trouvée de 80 volts, soit d'environ 4 p. 100 de la tension normale. En construisant le diagramme Kapp en pour cent, on fait OB égal à 4 p. 100 et OF égal à 2 p. 100, et l'on obtient pour les chutes de potentiel les valeurs suivantes :

Pour $\varphi = 0$	2,3 0/0
— $\varphi =$ 90°. . . .	3,9 0/0
— $\varphi =$ 60°. . . .	4,0 0/0

Les mesures directes étant peu précises, on a dû en effectuer un nombre considérable pour obtenir une moyenne présentant quelque certitude. Les résultats sont

Pour $\varphi = 0$.	2,0 0/0
— $\varphi =$ presque 90°.	3,2 0/0
— $\varphi =$ 60°.	8,9 0/0

Les écarts entre ces valeurs et les précédentes sont assez petits, pour qu'on puisse considérer ces résultats comme une confirmation de la méthode Kapp, surtout parce que la perte est en effet plus grande pour $\varphi = 60°$ que pour $\varphi = 90°$.

M. Gœrges apporte à son tour une vérification expérimentale de la méthode. Les expériences ont porté sur un transformateur de mêmes puissance et rapport de transformation que celui dont il vient d'être question. La chute de potentiel ohmique est à charge normale, c'est-à-dire avec 85 ampères secondaires, de 1,85 p. 100, et avec 115 ampères de 2,53 p. 100. Or, l'enroulement primaire prenait 10,5 p. 100 de la tension normale lorsque le secondaire en court circuit débitait 115 ampères; de plus on a trouvé pour le même courant 5,4 p. 100 lorsque le circuit ne contenait pas de self-induction, et 10,5 p. 100 pour $\cos \varphi = 0{,}70$. Le diagramme donne, au lieu de 5,4 p. 100, seulement 3,1 p. 100, c'est-à-dire une valeur plus petite, et pour $\cos \varphi = 0{,}70$, il donne 9,3 p. 100 au lieu de 10,5.

Mais dans ces transformateurs on a observé le fait très curieux qu'à vide le rapport de transformation ne coïncide pas avec le rapport des spires, et qu'il existe déjà à secondaire ouvert une chute de potentiel de 1 à 1,5 p. 100. Si l'on donne à la ligne OB la longueur 10,5 p. 100, mais en choisissant le point B tel que sans induction la chute de potentiel soit de 5,4 p. 100, le diagramme donne pour $\cos \varphi = 0{,}70$ presque exactement la valeur observée de 10,5 p. 100. Cette particularité n'a pas encore été étudiée à fond.

A. H.

Digitized by Google

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Propriétés magnétiques des corps à diverses températures, par P. Curie (1).

Ce mémoire est le résumé de la thèse de doctorat que l'auteur présentait en mars dernier à la Faculté des sciences de Paris. Nous ne faisons que le signaler, M. P. Curie se proposant d'écrire prochainement et spécialement pour les lecteurs de cette Revue un article sur ce sujet.

Un galvanomètre extrêmement sensible, par Pierre Weiss (2).

La précision toujours croissante des mesures électriques a amené les expérimentateurs à se préoccuper de la construction des galvanomètres de très grande sensibilité. Dans ces dernières années, MM. Snow (3), Paschen (4), Schuster(5) et Wadsworth (6) se sont particulièrement occupés de cette question, mais ces divers physiciens employaient tous un système magnétique à aiguilles horizontales.

Dans le galvanomètre de M. Weiss, le système magnétique est constitué par deux longues aiguilles verticales, parallèles à l'axe de rotation et dont les pôles de noms contraires sont en regard. Chacun des deux systèmes de pôles voisins remplace un des aimants de la forme habituelle de l'équipage astatique, et est placé au centre d'une des paires de bobines.

Cette disposition présente, au point de vue de la sensibilité, plusieurs avantages que l'auteur indique sommairement dans la note qui nous occupe et dont il a pu vérifier l'existence par l'étude de deux galvanomètres d'essais assez grossièrement construits. Très certainement ces avantages seront encore plus manifestes dans le modèle définitif construit par M. Carpentier et dont M. Weiss attend l'achèvement pour publier daus cette Revue un article étendu sur les conditions de sensibilité des galvanomètres et leur réalisation pratique.

J. B.

La vitesse des ondes électriques, par John Trowbridge et William Duane (7).

La méthode qu'emploient les auteurs pour déterminer cette vitesse consiste à mesurer simultanément la longueur d'onde et la période ; le quotient de la longueur d'onde par la période donne la vitesse cherchée.

La détermination de la longueur d'onde s'effectue par la méthode que nous avons déjà eu l'occasion de signaler à propos des expériences de M. Saint John sur la variation qu'éprouve la période des ondes électriques en se propageant dans un fil de fer (8). La période se déduit des distances qui séparent les images obtenues sur une plaque photographique sur laquelle un miroir tournant projette les rayons des étincelles donnant naissance à ces ondes ou produites par elles, méthode dont l'un des auteurs s'est servi dans de nombreuses expériences antérieures (9).

La figure 1 représente la disposition employée dans les premières expériences. AB est un condensateur à plateaux verticaux reliés par un circuit BC également vertical (bien que sur la figure il ait été, pour plus de commodi-

(1) *Journal de physique*, 3e série, t. IV, p. 197-212; mai 1895.
(2) *Journal de physique*, 3e série, t. IV, p. 212-217 ; mai 1895.
(3) Snow. *Wied. Ann.*, t. XLVII, p. 218 ; 1892.
(4) Paschen. *Wied. Ann.*, t. XLVIII, p. 284; 1893.
(5) Schuster. Communication faite à l'Association britannique. — *Ecl. Elect.*, t. I, p. 421.
(6) Wadsworth. *Phil. Mag.*, t. XXXVIII, p. 482 et p. 553; 1894. — *Ecl. Elect.*, t. II, p. 136 et 178.
(7) *American Journal of Science*, t. XLIX, p. 297-305 ; avril 1895.
(8) Saint-John, *Phil. Mag.*, t. XXXVIII, p. 425; 1894. — *L'Eclairage Electrique*, t. II, p. 37.
(9) Trowbridge. *Phil. Mag.* t. XXX p. 323 ; 1890 ; t. XXXII, décembre 1891 ; t. XXXVIII, p. 182 et 441, 1894. — *Lumière Electrique*, t. XXXIX, p. 438 ; t. XLII, p. 40 ; *Eclairage Electrique*, t. I, p. 283 et 603.

Digitized by Google

té, représenté dans un plan horizontal). Ces plateaux étaient formés de feuilles d'étain de 40 cm. sur 101 cm. de côtés, collées sur des lames d'ébonite et séparées par d'autres lames d'ébonite en nombre suffisant pour maintenir les feuilles métalliques à 4,2 cm. de distance. Le circuit BC consistait en deux fils de 75 cm. de longueur placés à 4 cm. de distance environ, il présentait en C un interrrupteur à étincelles, formé de deux sphères de platine de 2,5 cm. de diamètre. Les deux plateaux de AB étaient reliés aux pôles d'une bobine de Ruhmkorff, excité par une batterie de cinq accumulateurs donnant lieu à une force électromotrice totale de 5 volts. Sur le circuit de ces accumulateurs était placé un interrupteur automatique employé par M. Saint-John dans les expériences rappelées plus haut.

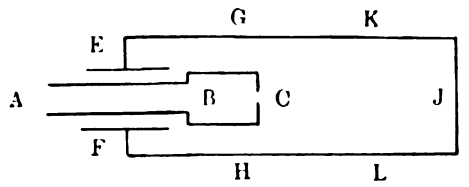


Fig. 1. — Disposition expérimentale primitive.

De part et d'autre des plateaux du condensateur primaire AB se trouvaient deux plateaux E et F séparés des premiers par des lames d'ébonite de 0,6 cm. d'épaisseur. A ces derniers plateaux se trouvaient fixées les extrémités du circuit secondaire FJE formé d'un fil de cuivre de 0,13 cm. de diamètre et de 4 200 cm. de longueur.

On modifiait les dimensions du circuit primaire jusqu'à ce que les oscillations induites dans le secondaire présentent des nœuds en G, J et H et des ventres en K et L. La présence des nœuds et des ventres en ces points était décelée, comme dans les expériences de M. Saint-John, par la méthode bolométrique de Paalzow et Rubens. Dans ce but on déplaçait le long du circuit secondaire deux petits cylindres de bois percés chacun d'un trou dans lequel passait le fil FJE ; sur ces cylindres se trouvaient enroulées les extrémités de deux fils métalliques reliés à un pont de Wheatstone. D'ailleurs les oscillations étaient généralement assez puissantes pour que le fil secondaire devînt lumineux aux ventres, ce qui permettait de voir immédiatement la position de ceux-ci. En outre, les auteurs remarquèrent qu'en déplaçant l'oreille parallèlement au fil secondaire on percevait nettement un crépitement particulier, qui était maximum dans le voisinage des ventres K et L et disparaissait complètement aux nœuds G, H et J.

La longueur d'onde des oscillations se déduisait immédiatement de la distance séparant les nœuds des ventres ; la période se déduisait des mesures faites sur les images photographiques des étincelles primaires. Les auteurs ne donnent pas les résultats de ces mesures, les expériences faites avec cet appareil les ayant conduits à modifier un peu leur manière d'opérer.

Ils constatèrent en effet que si l'on place un interrupteur à pointes en J, la présence de cet interrupteur ne modifie pas la position des nœuds et des ventres ; tout au plus constatait-on, par les indications du bolomètre, une légère modification de la distribution électrique dans le voisinage immédiat de l'interrupteur, modification due sans doute, à la grande différence de potentiel qui doit s'établir entre les pointes de l'interrupteur avant que les étincelles ne puissent franchir l'espace d'air qui les sépare. Ils constatèrent en outre que l'intensité des étincelles secondaires produites en J était suffisante pour obtenir des images nettes sur la plaque photographique.

Ces résultats sont de la plus haute importance. En effet, la période des étincelles primaires n'est égale à celle des oscillations induites que si le circuit secondaire est en parfaite résonance avec le circuit primaire, ce qu'on n'est pas certain d'obtenir. D'un autre côté la mesure de la période des étincelles ne peut se faire avec exactitude d'après les images photographiques que si ces étincelles se produisent au même point, ce qui n'a pas lieu avec les interrupteurs à sphères métalliques que l'on est obligé d'employer,

Digitized by Google

sans qu'on sache bien pourquoi, si l'on veut obtenir des oscillations puissantes. En troisième lieu on sait que les oscillations secondaires s'amortissent moins rapidement que les primaires et, par suite, produisent, avant de s'éteindre, un plus grand nombre d'oscillations dans les étincelles que ces dernières, d'où doit résulter une plus grande exactitude de la mesure du temps qui s'écoule entre deux étincelles. Pour ces raisons il est donc préférable de mesurer la période des étincelles que produisent les oscillations secondaires elles-mêmes en traversant un interrupteur à pointes. Or, les résultats précédents montraient qu'il est possible d'opérer ainsi sans modifier la longueur d'onde de ces oscillations.

L'appareil employé dans les expériences définitives est représenté par la figure 2. Il comprend un condensateur formé de huit feuilles de zinc *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g* et *h* de 25 cm.

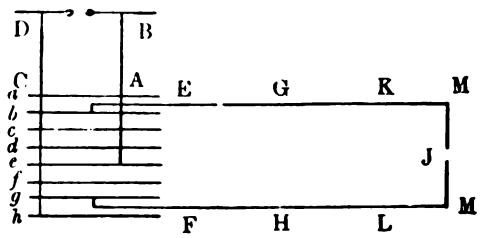


Fig. 2. — Disposition expérimentale définitive.

sur 20 cm. de côtés, plongées dans un bain d'huile de castor et maintenues à une distance de 2 cm. environ les unes des autres par une charpente en ébonite. Les feuilles *a*, *c* et *e* sont reliées au conducteur AB et forment l'une des armatures du condensateur primaire; les feuilles *d*, *f*, et *h* sont reliées à CD et forment l'autre armature de ce condensateur. Les deux extrémités du circuit secondaire EJF sont fixées aux lames *b* et *g*. Ce circuit secondaire était constitué par un fil de cuivre de 0,215 cm. de diamètre et de 6 338 cm. de longueur, dont les deux moitiés EM et FM étaient distantes de 30 cm. environ; en J était un interrupteur à pointes. Le circuit primaire était formé de deux tiges AB et CD de 0,34 cm. de diamètre et distantes de 0,45 cm. supportant un interrupteur à boules.

Pour une distance convenable des boules de l'interrupteur la résonance des deux circuits était parfaite. Pour les mesures on adopta une distance un peu différente. Les résultats obtenus sont indiqués dans la table ci-dessous. La première colonne donne la vitesse de rotation du miroir tournant qui était placé à 300,1 cm. de la plaque photographique. La seconde indique la distance séparant sur la plaque photographique deux oscillations de l'étincelle secondaire; chacun des nombres est la moyenne de trente déterminations obtenues en comptant le nombre d'images occupant des longueurs sensiblement égales à 1 cm. Enfin la troisième donne la vitesse de propagation des ondes, évaluée en centimètres, en prenant 5 888 cm. pour la longueur d'onde, moyenne de cinq mesures différant entre elles de moins de 20 cm.

DONNÉES SERVANT AU CALCUL DE LA VITESSE ET VALEURS DE CETTE VITESSE

NOMBRE DE TOURS du miroir par seconde	DISTANCE entre deux images successives sur la plaque	VITESSE DES ONDES
71,2	0,05608	$2{,}819 \times 10^{10}$
70,85	0,05600	$2{,}810 \times 10^{10}$
70,7	0,05532	$2{,}835 \times 10^{10}$
71,3	0,05637	$2{,}808 \times 10^{10}$
70,8	0,05611	$2{,}808 \times 10^{10}$
	Moyenne.	$2{,}806 \times 10^{10}$

On voit que la moyenne de ces résultats s'écarte notablement du résultat trouvé par M. Blondlot pour la vitesse des ondes dans les fils et des nombres qui expriment la vitesse de propagation de la lumière, dans l'air ou le rapport v des deux systèmes d'unités électriques. En mesurant la période au moyen des étincelles primaires, les auteurs ont obtenu $2\,988 \times 10^{10}$ pour la vitesse des ondes électriques, résultat qui concorde fort bien avec les valeurs des quantités que nous venons de rappeler. Mais pour les raisons exposées plus haut, ils considèrent ce résultat comme moins

Digitized by Google

exact que le précédent et ne croient pas devoir l'adopter. D'autre part ils estiment que le degré de précision de leurs mesures ne permet pas d'attribuer la divergence entre la moyenne des résultats trouvés avec les étincelles secondaires et les valeurs admises pour la vitesse de la lumière ou le nombre v à des erreurs expérimentales. Peut-être disent-ils, pourrait-on l'attribuer à ce que le circuit secondaire n'était pas suffisamment long pour que les ondes prissent leur entier développement, ou encore à une influence retardatrice des coudes du circuit en M, M ? Mais ils ne croient pas devoir se prononcer encore et ils se proposent d'élucider prochainement ces deux points par de nouvelles expériences.

J. B.

Instrument de mesure de l'hystérésis dans la tôle de fer, par le professeur Ewing (1).

Les constructeurs de transformateurs se rendent maintenant généralement compte de l'importance que présente au point de vue des rendements industriels l'emploi de fers donnant lieu à peu d'hystérésis. Mais on sent aussi la nécessité de posséder quelque moyen simple pour apprécier rapidement cette qualité. Les divers échantillons de fer ont souvent des propriétés très différentes. La perte par hystérésis peut varier d'un échantillon à l'autre du simple au triple, et des différences analogues quoique moins grandes peuvent être observées entre échantillons provenant d'un même lot, et souvent même entre deux parties différentes d'une même tôle. C'est ainsi que l'auteur a trouvé 15 p. 100 de différence entre échantillons pris aux quatre coins d'une même plaque carrée de tôle d'un demi-mètre de côté. Les analyses chimiques décèlent d'ailleurs des variations de ce genre et montrent que les impuretés sont inégalement distribuées dans la masse.

Une seule expérience ne saurait dans ces conditions donner des résultats concluants ; il faut un grand nombre d'essais sur un même lot de métal pour déterminer la qualité moyenne. Un procédé simple et expéditif d'essai est donc nécessaire. Les méthodes balistiques et autres, quoique très exactes, sont trop compliquées pour la pratique. Il ne s'agit d'ailleurs pas de déterminer la courbe de $\mathfrak{B}$ en fonction de $\mathcal{H}$, ni de mesurer la perméabilité, qui ne varie pas toujours parallèlement avec l'hystérésis.

Ces considérations ont conduit l'auteur à imaginer un appareil qui permette de mesurer l'hystérésis directement, à l'aide d'une seule opération, et suffisamment simple pour diminuer le plus possible la durée des essais et aussi la quantité de fer à employer comme échantillon. Le principe de l'instrument est la mesure *mécanique* du travail effectué dans l'aimantation alternative du fer. M. Wilberforce et l'auteur avaient déjà, il y a deux ou trois ans, essayé de déterminer l'hystérésis d'un cylindre de fer tournant dans un champ magnétique intense, en mesurant le couple nécessaire pour le maintenir en rotation. Une méthode analogue a été employée avec succès par M. F.-G. Baily pour étudier la disparition de l'hystérésis que l'on observe dans un tel cylindre lorsque le champ est rendu assez intense — question importante au point de vue de la théorie moléculaire du magnétisme.

Dans l'instrument de M. Ewing les inversions de l'aimantation se produisent non comme dans l'armature d'une dynamo, mais comme dans un noyau de transformateur ; on donne à l'induction la même valeur dans tous les échantillons essayés. L'échantillon est employé sous une forme très simple ; on obtient les inversions du magnétisme en tournant une manivelle de l'appareil et le résultat cherché est indiqué par un index se mouvant sur une graduation.

La figure 1 représente l'instrument sous la forme définitivement adoptée après de nombreuses expériences. La tôle de fer à essayer est découpée en bandes de 7,5 cm. de longueur et 1,5 cm. de largeur. Le nombre de bandes employées pour former l'échantillon

(1) Communication faite à l'Institution of Electrical Engineers, le 25 avril 1895.

Digitized by Google

dépend de l'épaisseur de la tôle; six ou sept bandes suffisent pour les épaisseurs de tôle usuelles. Le paquet de lames formant l'échantillon est placé dans un support *a*, couvert d'une plaque d'ébonite et serré dans les presses *bb*. Ce support est fixé sur l'axe de la poulie de friction *c* qu'actionne la roue *d*. L'échantillon tourne ainsi entre les pôles de

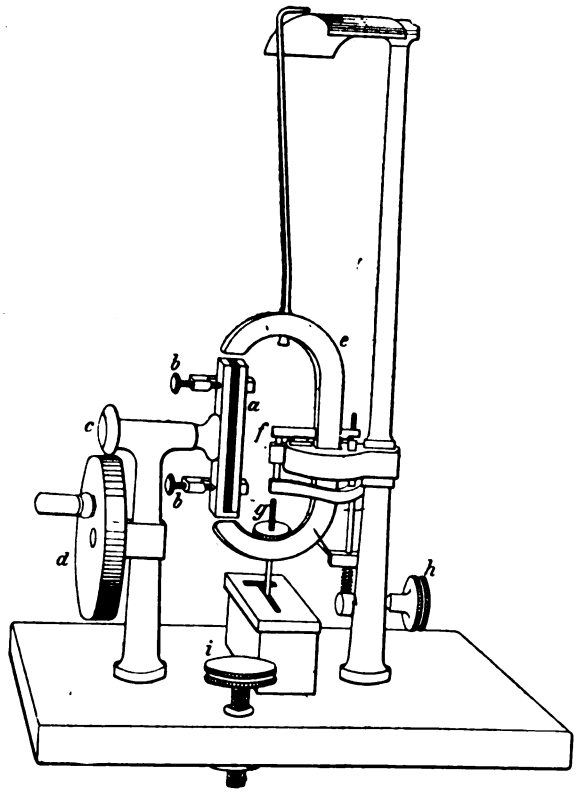


Fig. 1. — Instrument pour la mesure de l'hystérésis.

l'aimant permanent *e*, et se trouve aimanté alternativement dans un sens et dans l'autre. Le travail effectué par hystérésis dans l'inversion de l'aimantation crée un couple mécanique que le fer en rotation exerce sur l'aimant. Cet aimant supporté par un couteau de balance dont l'arête est dans le prolongement de l'axe de la poulie tend à suivre le mouvement du support et dévie d'un certain angle qui sert de mesure du travail dépensé.

Le travail effectué par inversion étant constant, quelle que soit la fréquence (tant que celle-ci n'est pas assez élevée pour donner lieu à une absorption notable de travail par courants induits), la déviation de l'aimant est indépendante de la vitesse à laquelle on fait tourner l'échantillon de fer. Quand la rotation est très lente, l'aimant prend un mouvement d'oscillation, mais quand la vitesse est assez élevée, les diverses impulsions se confondent en une déviation fixe. L'oscillation de l'aimant est combattue par un amortisseur consistant en une ailette se mouvant dans une boîte remplie d'huile.

La stabilité de l'aimant et par suite la sensibilité de l'aimant se règle à l'aide d'un contrepoids *g* formant écrou mobile sur une tige filetée fixée à l'aimant. Le couteau portant le système oscillant repose dans une rainure sur une lame d'agate, et un dispositif manœuvré à l'aide de la molette *h* permet de soulever le système pour éviter l'usure inutile du couteau.

L'index solidaire de l'aimant est amené au zéro de la graduation par l'action d'un petit contrepoids mobile sur une tige fixée latéralement à l'aimant, et le dernier réglage est effectué au moyen de la vis de niveau *i*. Dans chaque essai, on tourne la roue *d* d'abord dans un sens, puis dans l'autre, et l'on ajoute les deux lectures. La déviation est très approximativement proportionnelle à l'hystérésis du fer, même quand on compare des échantillons de qualités très différentes.

Pour obtenir ce résultat, on a laissé un entrefer considérable entre les pôles de l'aimant et ceux de l'échantillon de fer; il en résulte que les différences ordinaires de perméabilité des échantillons sont presque sans influence sur l'induction totale dans le fer. L'intensité d'aimantation et les dimensions de l'aimant inducteur sont proportionnées de façon que l'induction produite soit de l'ordre de grandeur de celles employées dans les transformateurs (environ 4 000 unités C. G. S. dans l'instrument présenté). On peut d'ailleurs adopter une autre induction de même ordre, car la valeur relative de l'hystérésis dans des fers différents ne varie pas beaucoup avec

Digitized by Google

l'induction, ce qui résulte d'ailleurs aussi de la formule Steinmetz.

$$\text{Perte par hystérésis} = cB^n$$

dans laquelle c et n sont des constantes entre les limites assez étendues de l'induction.

En découpant les lames qui doivent former l'échantillon, il faut prendre soin de les faire toujours de même longueur, afin de conserver le même entrefer. Le support du paquet de

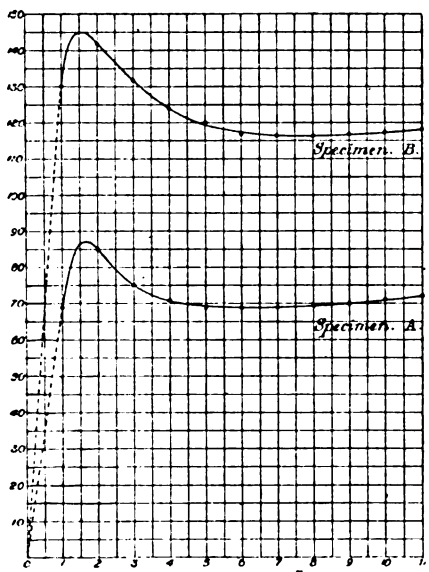


Fig. 2. — En abscisses sont portés les nombres de lames des échantillons; en ordonnées les indications de l'instrument.

lames peut servir de jauge de longueur, mais on joint aussi à l'instrument un second support de même forme, mais en acier trempé qui permet de limer les bandes de fer de la longueur voulue.

Quant à la section du paquet de lames, il n'est pas nécessaire de la faire exactement la même dans tous les cas, car elle peut varier notablement sans affecter beaucoup les indications de l'instrument. C'est ce qu'a démontré une expérience dans laquelle l'auteur a fait varier la section en changeant le nombre de lames de tôle formant l'échantillon. Les courbes figure 2 donnent les lectures faites sur la graduation, quand l'échantillon était formé de 11 lames, puis de 10, de 9, etc., et pour deux sortes de fer.

Qu'il y ait six, sept ou huit lames de fer dans l'échantillon, on voit que la lecture reste pratiquement constante. Il suffira donc, dans la généralité des cas, de prendre un poids de matière grossièrement égal à celui d'un échantillon de comparaison bien étudié.

Les indications de cet instrument ont été comparées avec une série de mesures balis-

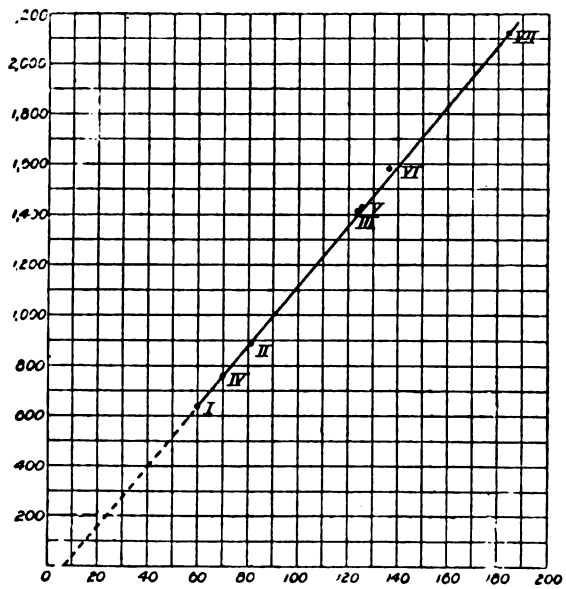


Fig. 3. — En abscisses sont portées les indications de l'instrument; en ordonnées les valeurs correspondantes de l'hystérésis.

tiques. A cet effet, sept échantillons-types ont été préparés et étudiés ensuite par la méthode balistique et dans l'instrument, en employant une induction de 4 000 unités. La courbe figure 3 donne le résultat de cette comparaison, et montre que la graduation de l'instrument est à peu de chose près proportionnelle à la perte par hystérésis. Toutefois, la droite qui représente cette relation ne passe pas exactement par l'origine. Il est, en effet, probable que dans la variation périodique de la distribution des lignes de force dans l'aimant lui-même, un petit travail additionnel est dépensé et révélé par l'instrument.

On se propose de joindre à chaque instru-

Digitized by Google

ment deux types de fer avec une table indiquant leur hystérésis déterminée à l'aide de la méthode balistique. L'observateur devra avant tout essai noter la déviation obtenue avec chaque échantillon-type; il pourra ensuite, en se servant d'un diagramme, interpréter en mesure absolue, les déviations obtenues avec des échantillons quelconques. On éliminera ainsi toute erreur qui pourrait être due aux variations d'intensité de l'aimant ou aux différences de position du centre de gravité du système.

L'hystérésis des échantillons-types est indiquée pour B = 4 000. Pour trouver l'hystérésis relative à une autre induction, il suffit de faire usage des facteurs de la table suivante, qui a été déduite par l'auteur comme moyenne générale d'essais balistiques sur un grand nombre d'échantillons :

Induction.	Facteur d'hystérésis.
2 000	0,33
2 500	0,47
3 000	0,63
4 000	1,00
5 000	1,41
6 000	1,89
7 000	2,41
8 000	3,00

A. H.

BIBLIOGRAPHIE

Motori elettrici à campo magnetico rotatorio, par ANGELO BANTI (*Veuve Pateras*, éditeur, Rome. Prix : 3 fr. 50).

Quoique la brochure de M. Banti date déjà de quelques mois, il n'est pas sans intérêt de la présenter à ceux de nos lecteurs qui ne la connaissent pas encore.

Notre sympathique confrère de l'*Electricista* a réuni dans ce petit volume la plupart des articles qu'il a publiés sur les moteurs à champ tournant depuis trois ou quatre ans. Quelques-uns de ces articles ont été reproduits par la *Lumière Électrique*, et les lecteurs d'alors, qui sont aussi ceux de maintenant, ont pu apprécier la clarté d'exposition en même temps que la parfaite impartialité de l'auteur.

Après quelques lignes consacrées à l'historique de la question, celui-ci étudie d'abord les champs alternatifs, puis les moyens d'obtenir une différence de phase entre deux courants de même fréquence.

Les préliminaires posés, il passe successivement en revue les moteurs et générateurs à champ tournant connus en suivant de préférence l'ordre chronologique. C'est ainsi qu'il nous donne successivement la description du moteur de Ferraris, des moteurs à deux phases de Schuckert, des dynamos à courants triphasés d'Oerlikon, etc. A signaler en particulier une exposition très claire de la théorie des courants alternatifs polyphasés.

Quelques lignes sont également consacrés à la définition des champs tournants multiples avec la description des moteurs Siemens et Halske et d'Oerlikon, comme exemples.

M. Banti reproduit ensuite le procédé purement théorique breveté par la maison Alioth, pour obtenir un champ tournant à l'aide d'un seul courant alternatif, procédé retrouvé simultanément plus tard par MM. Déri et Korda, sans compter les nombreuses revendications américaines.

Le livre est terminé par quelques considérations sur le moteur Hutin et Leblanc à courants diphasés et sur les moteurs asynchrones Leblanc-Brown où l'auteur donne des détails très intéressants sur le fonctionnement de ces moteurs et sur les nombreuses expériences qu'il a eu l'occasion de faire sur ces appareils. Dans toute cette deuxième partie de son ouvrage, M. Banti remplace l'expression anglaise de facteur de puissance, par celle beaucoup plus imagée de facteur de réduction qui doit être préférée à la première.

Le livre du docteur Banti est, en somme, un de ceux dont le succès est certain d'avance et qui, mis entre les mains des débutants, ne peuvent que leur donner des idées saines. Ces derniers sont tellement rares maintenant, que c'est une bonne fortune pour moi que de pouvoir en signaler un à nos lecteurs.

F. GUILBERT.

Digitized by Google

CHRONIQUE

L'analyse chimique basée sur des mesures électriques. — Dans une récente séance de la Société chimique, de Londres, M. Laurie a fait remarquer le fait qu'un élément formé de zinc et de platine plongeant dans une solution d'iode dans l'iodure de potassium présente une force électromotrice constante dépendant de la teneur de la solution en iode libre. Avec une teneur en iode libre de 0,0001 p. 100 la force électromotrice est de 1,320 volt; elle augmente ensuite rapidement avec la quantité d'iode et atteint 1,369 volt pour une teneur de 0,001 p. 100; à partir de là l'augmentation est plus lente, mais régulière. Avec 0,1 p. 100 d'iode elle est de 1,460 volt.

Avec notre confrère *Zeitschrift für Elektrochemie* nous pensons qu'une méthode électrique de dosage pourrait être basée sur cette observation.

Ligne téléphonique Bruxelles-La Haye. — Les gouvernements belge et hollandais ont conclu une convention, aux termes de laquelle les deux capitales seront reliées par une ligne téléphonique, dont la construction devra être achevée avant juillet prochain.

Utilisation des cataractes du Nil. — L'inspecteur général des Ponts et Chaussées en Egypte, M. Prompt, a fait, il y a quelque temps devant l'Institut égyptien une conférence, dans laquelle il a chaudement prôné l'utilisation des forces motrices du Nil aux cataractes. Partant de ce fait, que depuis 1882 la valeur des produits agricoles a constamment baissé, il conclut qu'il est nécessaire d'établir dans la Haute-Égypte un grand réservoir d'eau pour permettre la culture de la canne à sucre et du coton au lieu des céréales.

Comme, toutefois, la situation agricole en Égypte est telle qu'on ne pourrait attendre la réalisation de cette idée, M. Prompt propose d'établir d'abord une usine électrique dans le voisinage d'Assouan sur une chute artificielle du Nil de 15 mètres de hauteur.

L'utilisation de cette chute rendrait disponibles environ 40 000 chevaux et l'on pourrait encore recueillir pour l'irrigation environ 500 millions de mètres cubes d'eau. Un second barrage de 5 mètres de hauteur serait à établir dans le voisinage du Caire.

Comme la force motrice reviendrait à très bas prix, on pourrait actionner 130 filatures pouvant occuper 40 000 ouvriers et fournir 100 000 tonnes de coton. Les travaux nécessités coûteront 40 millions de francs, mais cette somme assurerait un bénéfice d'environ 40 p. 100 (?).

Le conférencier explique encore que l'irrigation d'une surface de 280 000 hectares actuellement plantée de céréales, fournirait dans l'avenir 450 000 tonnes de sucre brut. En outre, le prix du coton augmenterait de moitié, parce que le marché égyptien assurerait l'écoulement de ce produit dans le pays même.

Tous ces projets pourraient être exécutés sans subvention de la part de l'État.

L'électricité à Bruxelles. — Une nouvelle station électrique sera installée, pour l'hiver, rue de la Vanne, pour desservir les habitations du quartier de l'avenue Louise. L'installation de la sous-station de la rue Beyaert sera complètement terminée dans le courant de juillet. Pour la même époque, on aura fini d'établir le réseau électrique du quartier Léopold et du quartier Notre-Dame-aux-Neiges. L'électricité a décidément conquis la vogue à Bruxelles; plus de 30 kilomètres de rues sont canalisés à l'heure actuelle.

Droits de douane en Suède pour les lampes à incandescence. — Par une modification du tarif douanier suédois les droits sur les lampes ont été portés de 1,50 à 2,08 fr. par kilogramme.

Transport d'énergie au Mexique. — Suivant l'*Electrical Engineer* de Londres, une intéressante installation de transport à distance de l'énergie est actuellement en voie de réalisation pour la *Compagnie anonyme de Transmission Électrique de Potentia*, dans l'État de Hidalgo, à 200 kilomètres environ au nord de Mexico.

Un volume d'eau d'environ 3 mètres cubes par seconde est emprunté à l'arroyo de Regla; il est amené par un canal horizontal, en partie en tunnel, à un tuyau de 600 mètres de longueur et de 60 centimètres de diamètre, présentant entre ses deux extrémités une différence de niveau de 250 mètres et constitué par des parois d'épaisseur

Digitized by Google

variable avec la pression à supporter, la partie inférieure étant en acier de 15 millimètres d'épaisseur. Ce tuyau aboutit à la station génératrice où l'eau mettra en mouvement 5 turbines Pelton de 0^m80 de diamètre pouvant développer chacune une puissance de 400 chevaux et actionnant directement autant de machines à 12 pôles à courant triphasés, tournant à la vitesse de 600 tours par minute. Deux turbines Pelton de moindre puissance actionneront les dynamos excitatrices à courant continu.

Les dynamos fourniront le courant à une tension de 700 volts qui sera élevée pour le transport à 10 000 volts au moyen de transformateurs.

La puissance produite est destinée principalement aux mines de la Compagnie de Rio del Monte où plus de 8 000 ouvriers sont occupés. Ces mines sont réparties dans un rayon de 40 kilomètres et la distance moyenne de la transmission sera de 35 kilomètres environ, la distance maxima n'étant pas supérieure à 45 kilomètres.

D'autres mines du voisinage s'alimenteront aussi en énergie à la même source, ainsi que la ville de Pachuca qui sera dotée de l'éclairage électrique.

Statistique des incendies à New-York. — D'après une statistique des incendies qui se sont produits à New-York au cours de l'année 1894, le nombre des sinistres dus

Au pétrole	a été de	347
Au gaz	— —	230
Aux allumettes	— —	273
A l'électricité	— —	48
A des causes diverses	— —	2150

Ce dernier chiffre comprend jusqu'aux fausses alarmes du service des pompiers.

Le nombre très faible d'incendies dus à l'électricité est remarquable. Si l'on compare les pertes occasionnées par les sinistres dus aux diverses causes, on trouve un résultat des plus favorables à l'électricité. C'est ainsi qu'en 1894 le dommage causé par les incendies attribués à l'électricité n'a pas dépassé 2 600 francs, tandis que le pétrole a causé pour plus de 5 1/3 millions de francs de pertes.

Les dangers de l'acétylène. — Il paraît qu'outre la propriété que possède ce gaz de former avec certains métaux des composés explosibles, il aurait encore celle de faire lui-même explosion sous l'influence d'un choc violent, et ne pourrait donc être employé avec sécurité à l'état comprimé dans des cylindres d'acier.

Le projecteur électrique dans le service météorologique. — Au sommet de la tour de l'Auditorium, à Chicago à 100 mètres au-dessus du lac Michigan, on vient d'installer un projecteur qui, la nuit venue, émet vers tous les points de l'horizon, en pivotant lentement, des rayons, tantôt blancs, tantôt rouges, qui annoncent aux mariniers et aux agriculteurs, à 20 milles de distance, le temps probable, les gelées soudaines, les orages menaçants. Un rayon uniformément blanc annonce le froid intense, si l'on est en hiver, et, au contraire, une petite gelée, au printemps et à l'automne; un jet rouge prédit une bourrasque et des vents d'est, tandis que des bandes alternées, blanches et rouges, indiquent une tempête avec des vents d'orient. On sait que les rayons blancs et rouges seuls peuvent être employés pour un semblable usage car les autres couleurs sont plus ou moins modifiées par le passage à travers une couche d'air un peu épaisse.

Cette installation est provisoire, car le projecteur en service a été prêté pour deux mois à la ville de Chicago par le département de la marine. Du type ordinaire de 0,75 m., ce projecteur est destiné au croiseur cuirassé *Maine*; la lampe à arc qu'il renferme dépense 75 ampères sous 47 volts et, avec ses réflecteurs, donne une intensité lumineuse de près de 100 000 bougies. Mais ces expériences ont un tel succès, nous dit le *Western Electrician*, que M. J. Sterliog Morton, secrétaire de l'Agriculture, secondé par le préfet Moore, va procéder au montage définitif d'un grand projecteur de 1,50 m., dont les mouvements seront réglés par un électro-moteur et qui portera à tous les environs, dans un rayon de 40 milles, les prédictions du Bureau météorologique.

Déjà, pour le lac seulement, un système fixe analogue fonctionnait depuis quelque temps, mais il était bien imparfait, et les lampes à incandescence qui brillaient au centre d'un système de lentilles hexagonales n'avaient pas une portée suffisante pour que cette application puisse avoir ainsi un intérêt réellement pratique.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Digitized by Google

Tome III. Samedi 8 Juin 1895. 2e Année. — N° 23.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

SUR LA MESURE DES POTENTIELS TRÈS ÉLEVÉS

ELECTROMÈTRES ABSOLUS : MODÈLE ÉTALON, MODÈLE SIMPLIFIÉ

La mesure des potentiels très élevés ne paraît pas devoir présenter d'autres difficultés que celles qui résultent de la nécessité de maintenir la constance de ce potentiel pendant un temps suffisant pour effectuer la mesure.

Quand on étudie un phénomène dont l'intensité dépend de la grandeur du potentiel, il est généralement avantageux, parfois même nécessaire, d'opérer avec des différences de potentiel parfaitement constantes. Par exemple, supposons qu'on veuille chercher la relation qui, dans des circonstances définies, existe entre la distance explosive et la différence de potentiel. Cette différence étant portée à une valeur invariable que l'on détermine à loisir avec un électromètre, on rapproche lentement les électrodes du micromètre à étincelles jusqu'à ce que l'explosion se produise. On a ainsi fait une mesure dans d'excellentes conditions.

La difficulté expérimentale d'un problème de ce genre est donc double : maintenir d'abord le potentiel constant, le mesurer ensuite avec des appareils simples et en valeur absolue s'il est possible.

I. CONSTANCE DU POTENTIEL.

On obtient une différence de potentiel constant en employant un *trop-plein électrique*. Une disposition très simple, consiste à établir systématiquement une effluve permanente entre deux conducteurs et à alimenter cette fuite par une machine électrostatique à débit régulier. La différence de potentiel entre les deux conducteurs reste constante si les *points d'attache* de l'effluve sont fixes et si le débit de la machine est suffisant et assez régulier.

Pour réaliser la première condition, il faut que l'un des conducteurs, soit terminé en pointe très aiguë.

Pour que le débit de la machine soit régulier, il convient que sa vitesse reste constante. On y arrive très facilement en la mettant en mouvement à l'aide d'une petite dynamo qui reçoit le courant électrique d'une batterie d'accumulateurs.

Pour améliorer encore la constance du potentiel, le trop-plein électrique est relié par un *conducteur médiocre* à une bouteille de Leyde un peu forte. La bouteille se trouve alors chargée à une différence de potentiel qui est constante.

Ayant adopté cette disposition pour un certain nombre d'expériences, nous avons toujours constaté que les variations accidentelles du potentiel étaient de l'ordre du millième. Le centième est absolument sûr sans qu'il soit

Digitized by Google

nécessaire de prendre de grandes précautions

Voici par exemple une série de mesures faites à quelques minutes d'intervalle les unes des autres avec des potentiels bien constants.

0	minute	0	seconde	19 970	volts
»	—	40	—	19 980	—
2	—	0	—	19 990	—
3	—	10	—	19 980	—
4	—	50	—	19 990	—
6	—	25	—	19 980	—

Voici d'autres nombres indiquant une baisse progressive du potentiel à un moment où les accumulateurs, presque déchargés, avaient un voltage rapidement décroissant.

0	minute	5 364	volts.
2	—	5 321	—
4	—	5 310	—
6	—	5 297	—
8	—	5 300	—

Ajoutons que la même installation peut être utilisée pour obtenir des différences de potentiel constantes dans des limites très étendues : nous avons pu faire des mesures à 1 000 volts et des mesures à 100 000 volts.

Les expériences sont particulièrement faciles et sûres entre 5 000 et 40 000 volts.

II. Mesure des Potentiels.

Nous avons fait exécuter deux modèles d'électromètres absolus répondant à des besoins différents : un *modèle étalon* et un *modèle simplifié*. Disons d'abord quelques mots du modèle étalon.

Electromètre absolu étalon. — Il est clair qu'on ne peut effectuer des mesures absolues de précision qu'avec des instruments construits avec beaucoup de soin. L'appareil qui nous a servi a été réalisé par la maison Carpentier et la perfection de ses organes ne laisse rien à désirer.

C'est un électromètre balance à disque plan et anneau de garde établi sur les principes bien connus posés par lord Kelvin (1).

La balance représentée en ABC dans la figure 1, a été soignée comme une balance de précision. Elle est à fléau court ; son bras de levier est de 6 cm. Les oscillations du fléau sont limitées par des butoirs réglables D et E. Cette balance est installée sur une table solide en laiton FG supportée par quatre colonnes métalliques H à 28 cm. au-dessus de la base de l'appareil. Une large ouverture circulaire découpée dans la plaque de laiton

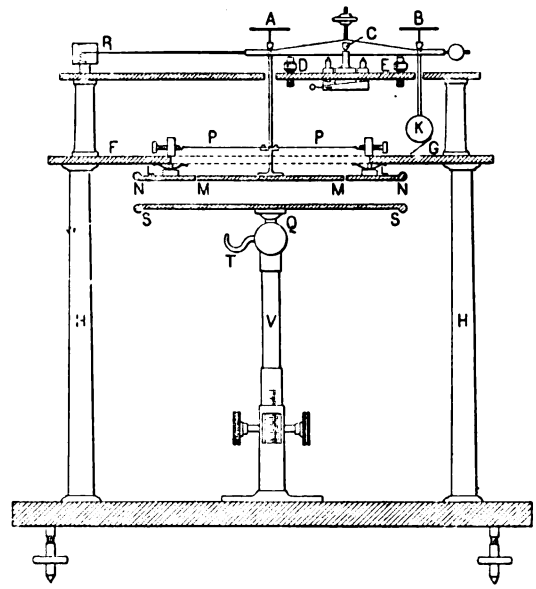


Fig. 1. — Électromètre absolu étalon de MM. Abraham et Lemoine.

laisse passer le disque attiré MM placé à l'intérieur de l'anneau de garde NN avec un jeu de 2,5 dixièmes de millimètres. On a donné au disque attiré un rayon de 5 cm.95 de façon que la force d'attraction fût de 5 gr. pour une distance des plateaux de 1 cm. alors que le potentiel est de 10 000 volts.

L'anneau de garde est d'une largeur suffisante : son rayon extérieur est de 11 cm. Il est soutenu à 1 cm.5 au-dessous de la table rigide par trois fortes vis de rappel LL. En visant au-dessous du plan du disque attiré on peut régler avec une très grande exactitude la position pour laquelle la surface de l'anneau de garde prolonge exactement celle du disque central.

Le disque mobile est maintenu centré dans

(1) Parmi les instruments de ce genre déjà réalisés, nous signalerons celui qui a servi autrefois à M. Baille.

Digitized by Google

l'ouverture de l'anneau de garde au moyen de trois haubans horizontaux PP très légers à peine tendus.

Il est en aluminium et se trouve équilibré par un contrepoids K suspendu à l'autre extrémité du fléau. La balance porte les écrous de réglage ordinaires et son aiguille R prolonge le fléau du côté opposé au contrepoids. Pour l'exécution de la pesée, la tige qui soutient le disque attiré et celle du contrepoids portent chacune un petit plateau A,B, placé au-dessus des couteaux de suspension. Le socle de l'appareil, les colonnes montantes, le disque et l'anneau de garde forment un seul conducteur relié au sol au moyen d'une borne fixée sur le socle.

Dans l'espace qui se trouve au-dessous du disque attiré se déplace verticalement un plateau horizontal SS ayant même diamètre que l'anneau de garde ; ce plateau est isolé ; il peut être relié par le crochet T au conducteur dont on veut mesurer le potentiel.

Ce plateau est soutenu en son centre par une genouillère Q servant au réglage. Pour obtenir le parallélisme des plateaux, il suffit de monter le plateau inférieur jusqu'à ce qu'il touche l'anneau de garde par l'un de ses bords. En continuant à soulever le plateau, la genouillère cède peu à peu jusqu'à ce qu'un contact parfait soit établi. Quand on descend ensuite le plateau mobile, il reste rigoureusement parallèle au plateau fixe.

L'isolement est assuré par une colonne de verre V vernie à la gomme laque. Comme cet appareil ne devait servir que jusqu'à 45 000 volts, il a suffi de donner à cette colonne de verre une longueur de 7 cm.5. On démontre que l'isolement est excellent en constatant qu'on peut encore tirer une étincelle du plateau vingt-quatre heures après l'avoir chargé.

La course du plateau est un peu inférieure à 5 cm. Ses déplacements sont produits et mesurés par le dispositif connu : pied à crémaillère et fenêtre à vernier. Ils sont déterminés au centième de millimètre par la lecture du vernier. C'est aussi au centième de millimètre que les surfaces en regard des plateaux ont été dressées par une méthode de retouches locales. Aussi *cet électromètre donne une précision du millième : une différence de potentiel de 40 000 volts par exemple est mesurée à 40 volts près.*

Instabilité de la balance. — Le potentiel étant maintenu constant, on soulève le plateau inférieur jusqu'à ce que l'attraction égale la surcharge. A ce moment, la balance culbute puisque l'équilibre est instable.

Dans ces conditions, on peut faire de très bonnes mesures : on observe avec une très grande netteté la position du plateau pour laquelle la balance culbute. Cependant, l'appareil permet d'opérer en équilibre stable ; il suffit de donner au fléau un moment de stabilité suffisant. A cet effet, le fléau porte un quatrième couteau situé à 6 cm. au-dessous du couteau principal. L'équilibre devient stable quand on y suspend un plateau chargé d'un poids suffisant, qui, d'ailleurs, n'excède jamais 100 gr.

Modèle simplifié. — L'électromètre étalon que nous venons de décrire est un instrument très précis, mais par cela même un peu délicat : ce n'est pas un outil pouvant être manié brutalement.

Nous avons pensé qu'un modèle plus simple et plus robuste intéresserait tous ceux, fort nombreux d'ailleurs, auxquels la précision du centième dans la mesure des potentiels suffit. Pour l'électrothérapie, par exemple, il serait désirable de connaître la valeur des potentiels avec lesquels on opère. Comme ces potentiels sont souvent très élevés, nous avons renforcé l'isolement afin de pouvoir faire des mesures jusqu'à 100 000 volts.

Les organes de réglage de l'appareil précédent ont été supprimés et certains détails simplifiés, ce qui a permis une construction plus économique. Voici les dispositions auxquelles nous nous sommes arrêtés (1).

L'appareil a la même disposition générale

(1) Ce modèle simplifié a été construit avec beaucoup de soin par la maison Torchebeuf, à Paris.

Digitized by Google

que le modèle étalon comme on peut le voir sur la seconde figure. Ce n'est plus une balance de précision que l'on emploie : sur la tablette supérieure on a placé une petite balance Roberval ABC du modèle commercial. Il n'y a pas de réglage de parallélisme pour le plateau inférieur, son orientation est invariable. On met en place le disque attiré MM et l'anneau de garde NN en faisant fléchir les tiges de

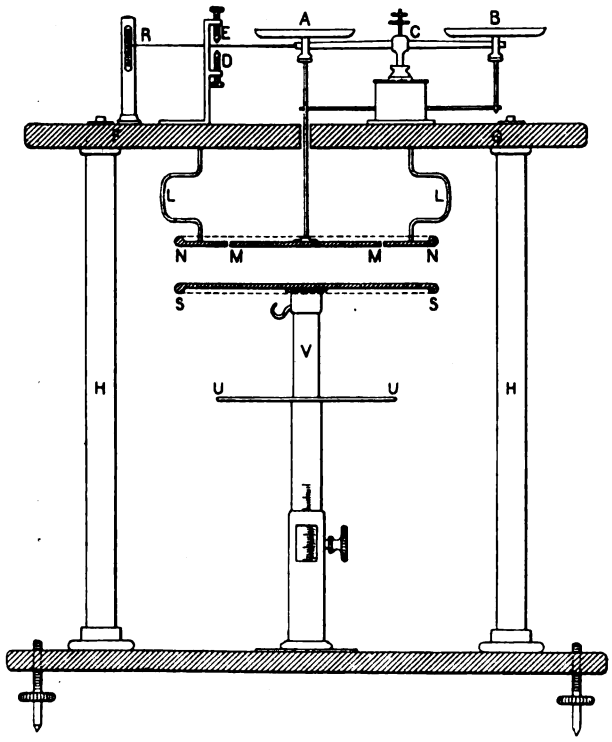


Fig. 2. — Modèle simplifié.

support LL qui sont en cuivre rouge très doux.

Pour avoir un bon isolement sans allonger outre mesure la colonne de verre V qui porte le plateau attirant, on a mastiqué, à la base de cette colonne un large plateau de verre UU : les effluves devraient faire le tour de ce plateau pour aller trouver le socle conducteur; ce mode d'isolement permet d'atteindre des potentiels de 100 000 volts.

Il fallait, d'autre part, éviter des décharges entre le plateau électrisé et les colonnes montantes HH qui sont au sol : c'est dans ce but qu'on a entouré ces colonnes, sur toute leur hauteur, de tubes de verre recouverts d'un vernis à la gomme laque.

Pour la même raison, lorsqu'on arrive à des potentiels supérieurs à 50 000 volts, on doit placer sur le plateau électrisé SS un large disque de verre mince qui complète l'isolement.

C'est ainsi que l'appareil permet de mesurer 100 000 volts, et il ne paraît pas actuellement nécessaire de dépasser cette limite; on y arriverait d'ailleurs aisément.

Tout en donnant à l'appareil, comme on vient de le voir, des garanties de solidité fort grandes, on n'a cependant pas sacrifié une trop grande partie de la précision. Ce n'est plus qu'au centigramme que se font les pesées, ce n'est plus qu'au dixième de millimètre qu'on mesure les distances, *mais cela suffit encore pour qu'on puisse déterminer au centième, et toujours en valeurs absolues, des différences de potentiel qui atteignent 100 000 volts.*

H. ABRAHAM, J. LEMOINE.

Laboratoire de Physique de l'Ecole normale supérieure.

LES MOTEURS SYNCHRONES

ET

LA THÉORIE DE M. A. BLONDEL

Il n'y a pas encore très longtemps qu'un certain nombre d'ingénieurs, quoique partisans des courants alternatifs, ne croyaient pas les moteurs synchrones monophasés ou polyphasés susceptibles d'applications industrielles importantes. L'apparition des moteurs asynchrones n'a pas du reste contribué pour peu à cette manière de voir.

Le principal avantage qu'avaient les seconds sur les premiers était leur facilité de démarrage sans charge ; ce désavantage disparaîtrait de lui-même si les moteurs étaient munis de circuits amortisseurs (1) qui constituent, pen-

(1) *Lumière Electrique*, vol. XLVI, p. 601, 1892.

Digitized by Google

dant la période de démarrage, une armature de moteur à champ tournant, de mauvais moteur il est vrai, lorsqu'on laisse ouvert le circuit d'excitation à courant continu du moteur. Le moteur une fois en vitesse, la fermeture de ce circuit détermine immédiatement la synchronisation. On reprochait également aux moteurs synchrones de se décrocher plus ou moins facilement par surcharge un peu brusque. C'était là un défaut dû uniquement au mauvais établissement du moteur, et que certains constructeurs sont arrivés à faire disparaître à la suite d'études raisonnées.

L'introduction des moteurs asynchrones dans les distributions par courants alternatifs, n'a pas produit le résultat qu'on en attendait et en dehors des déboires qu'ont eu plusieurs industriels par trop confiants dans les prospectus de certains électriciens annonçant des démarrages sous charge avec la plus grande facilité ; le décalage entre la tension et le courant introduit par ce moteur sur les réseaux de distribution, a limité considérablement la puissance des machines génératrices. Les condensateurs pouvaient alors seuls ramener le décalage à une valeur plus faible; malheureusement ils s'entêtèrent et s'entêtent de plus en plus à rester dans le domaine du calcul.

Il était donné à ceux qui n'avaient pas abandonné complètement l'étude des moteurs synchrones de prouver théoriquement d'abord et pratiquement ensuite que le moteur synchrone surexcité peut jouer le rôle d'un véritable condensateur et peut, par conséquent, servir à remplacer celui-ci.

Ce fut Hopkinson qui, le premier, montra qu'un moteur synchrone peut fonctionner avec une tension supérieure à celle de son réseau d'alimentation. En 1891, Svinburne semblerait avoir indiqué l'emploi de moteur synchrone comme condensateur. Dans une étude publiée en 1892, M. Blondel signala le même fait et montra que dans un transport d'énergie le courant peut être décalé en avant de la force électromotrice induite de la génératrice. Il constata de plus qu'il y avait pour une puissance donnée un minimum du courant d'alimentation en coïncidence de phase naturellement avec la force électromotrice induite de la génératrice, et indiqua la façon de l'obtenir. En 1893, M. Mordey vérifia expérimentalement ces idées qui conduisirent M. Lahmeyer à l'introduction des moteurs synchrones dans les distributions d'énergie, dans le but de diminuer le décalage, ou suivant l'expression consacrée maintenant, de fournir des courants déwattés opposés à ceux dus à la self-induction.

Parmi les théories nombreuses permettant de mettre en évidence les phénomènes intéressants que je viens de rappeler, celle que vient de publier M. Blondel (1) est de beaucoup la plus simple. Mon intention est d'en donner une analyse rapide qui donnera, je l'espère, au lecteur, l'idée de faire plus ample connaissance avec elle.

Je prendrai les notations ordinaires. Soient :

R et L la résistance et la self-induction du circuit total du moteur (comprenant la ligne et l'armature de la génératrice dans le cas du transport de force);

T la période, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ la vitesse de pulsation ;

K la réactance, $K = \omega L$;

Z l'impédance du circuit, $Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$;

E_1 la force électromotrice efficace agissante, c'est-à-dire aux bornes du réseau (ou induite dans la génératrice s'il s'agit d'un simple transport). Cette force électromotrice est supposée invariable dans la suite ;

E_2 la force électromotrice efficace induite dans le moteur synchrone, variable avec l'excitation ;

ε la force électromotrice résultante des deux précédentes ;

I le courant qui traverse l'armature du moteur;

P_1 la puissance électrique fournie par la force électromotrice E_1 ;

P_2 la puissance électrique engendrée dans

(1) Théorie des moteurs synchrones à courants alternatifs simples et polyphasés (A. Lahure, éditeur). Voir aussi *Industrie Electrique*, 1895.

Digitized by Google

l'armature par le courant, et comptée positivement dans le même sens que la puissance mécanique recueillie;

θ le décalage entre les forces électromotrices E_1 et E_2;

γ le décalage entre le courant I et la force électromotrice agissante E_1;

φ un angle auxiliaire représentant le décalage qui existe entre le courant et la force électromotrice résultante ε et défini par la relation connue :

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega L}{R} = \frac{K}{R}; \quad \text{d'où} \quad \begin{cases} \sin\varphi = \dfrac{K}{Z} \\ \cos\varphi = \dfrac{R}{Z} \end{cases}$$

L'auteur représente graphiquement à la façon ordinaire les éléments du problème en y introduisant deux perfectionnements importants.

Le premier consiste à faire une transformation d'échelle permettant de représenter par les vecteurs figurant déjà les tensions, les intensités en grandeur seulement : avantage précieux, puisque les décalages étant généralement très grands, les vecteurs représentatifs des intensités ont une dimension par trop restreinte et nuisent à la clarté des figures.

Si donc les vecteurs OA_1 et OA_2 (fig. 1) représentent les forces électromotrices efficaces de la génératrice et de la réceptrice, et A_1A_2 la force électromotrice résultante; au lieu de représenter l'intensité par le vecteur A_1C, nous la représenterons par A_1A_2, et le rapport des deux échelles sera évidemment égal à l'impédance Z puisque l'on a :

$$I = \frac{\varepsilon}{Z}.$$

On reconnaîtra facilement, si l'on trace la droite A_1N faisant avec A_1O un angle φ, que l'angle $\gamma = NA_1A_2$ est égal à l'angle OA_1C. Par suite, la phase du courant A_1A_2 par rapport à la f.é.m. E_1 se mesure à partir de cette droite A_1N; le segment A_1a est le courant watté ou symphasique et la perpendiculaire aA_2, le courant dewatté ou quadratique.

Cela posé, l'étude du fonctionnement du moteur synchrone, revient, en somme, à celle de la déformation de la figure, suivant les circonstances. Cette étude ne peut être faite utilement qu'en assujettissant une des variables (f.é.m., courant, décalage, puissance, etc.), à suivre une loi déterminée; à chaque valeur de celle-ci correspondra une ou plusieurs valeurs bien déterminées des autres; le point A_2 se déplacera alors sur une courbe à laquelle

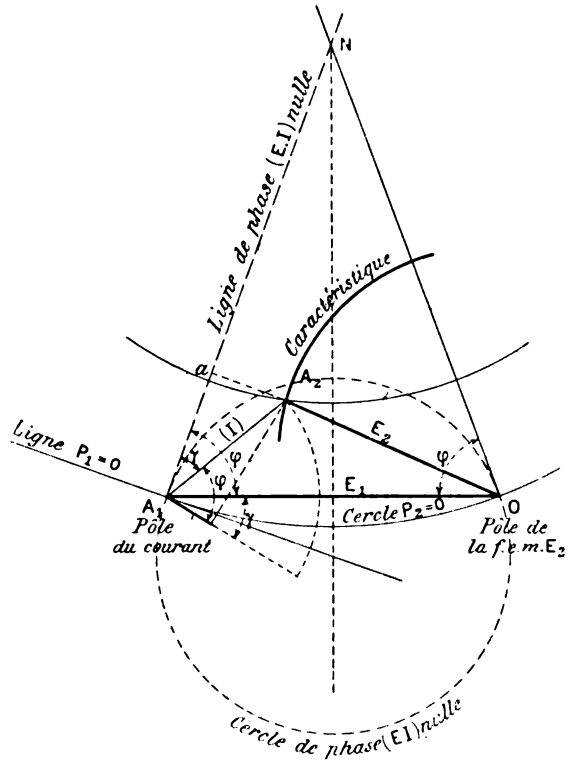


Fig. 1. — Graphique de M. Blondel pour l'étude des moteurs synchrones sur réseau à potentiel constant.

M. Blondel donne le nom de caractéristique bipolaire, pour cette raison qu'à chaque A_2 correspondent les deux vecteurs $OA_2 = E_2$ et $A_1A_2 = I$.

Le second perfectionnement consiste à représenter sur la figure le lieu des points d'égales puissances, c'est-à-dire les courbes analogues aux hyperboles de puissance. Or ces courbes, dans le cas d'une puissance utilisée constante, sont précisément des cercles (1)

(1) La démonstration est des plus simples en prenant pour axes de coordonnées la droite ON et sa perpendiculaire.

Digitized by Google

ayant pour centre le point d'intersection des droites A_1N,ON inclinées chacune d'un angle φ sur OA_1 et pour rayon l'expression

$$\rho = \frac{1}{\cos\varphi}\sqrt{\left(\frac{E_1}{2}\right)^2 - RP_2}.$$

que M. Blondel transforme en la suivante, par l'introduction de la puissance maxima qu'on peut réaliser en faisant varier E_2 et qui est $\pi = \frac{E_1^2}{4R}$.

$$\rho = \frac{E_1}{2\cos\varphi}\sqrt{1 - \frac{P_2}{\pi}}.$$

En pratique ces rayons doivent être exprimés en watts.

On peut également représenter sur le graphique les lignes d'égale phase γ du courant avec E_1 qui sont des droites issues du point A_1, la ligne A_1N correspondant à la coïncidence de phase du courant avec E_1. Les courbes d'égale phase du courant avec E_2 sont celles pour lesquelles l'angle A_1A_2O est constant. Ce sont des cercles ayant OA_1 comme corde ; la valeur de cet angle est $\alpha - \varphi$, α étant l'angle de décalage entre le courant et E_2.

M. Blondel figure également sur chaque graphique le cercle décrit du point A_1 comme centre avec rayon égal à l'intensité limite du courant compatible avec l'échauffement et de l'intérieur duquel, par suite, le point A_2 ne doit pas sortir.

Ce graphique bien compris, l'étude du fonctionnement d'un moteur à excitation constante et, par suite, à force électromotrice constante est des plus simples.

Le voltage du moteur étant constant, la caractéristique bipolaire est un cercle de centre O et de rayon E_2 (fig. 2).

Les puissances allant en croissant en approchant du point N, on voit que si la charge augmente le point A_2 se déplace depuis le point A_0. La puissance maxima que l'on puisse obtenir correspond au point Q_2 ; au delà, la puissance diminue quand le décalage θ augmente. La droite ON limite donc le décalage qui correspond au décrochage, c'est-à-dire à la limite de stabilité.

En pratique, le point Q_2 doit être bien en dehors du cercle de limite du courant ; la surcharge du moteur est alors limitée par l'échauffement, et non par la désynchronisation. Le rapport de la puissance nominale P_2 à la puissance maxima ne doit pas dépasser 1/2.

La stabilité dépend, comme le montre bien la figure 2, de l'angle φ, et par suite, de l'inductance et de la résistance totales du circuit. En particulier, à charge constante, la stabilité

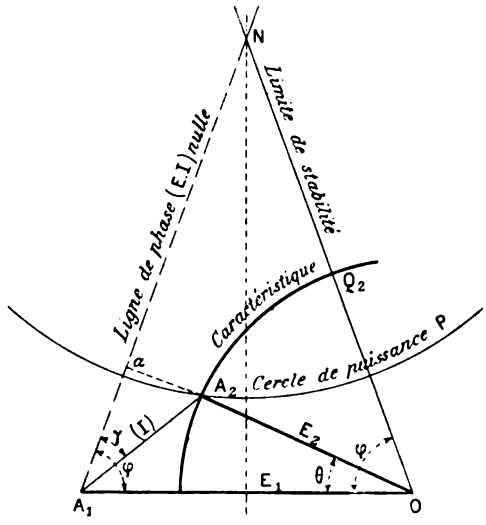


Fig. 2. — Moteur synchrone à voltage constant sur réseau à potentiel constant.

diminuera toujours avec la résistance R du moteur du générateur et de la ligne ; mais suivant que cos φ sera plus grand ou plus petit que 1/2 (valeur rendant maxima l'expression de la puissance maxima

$$P_{2\,max} = \frac{E_1\cos\varphi\,(E_1 - E_2\cos\varphi)}{R}\Big),$$

une augmentation de E_2 au delà de E_1 augmentera ou diminuera la stabilité. C'est là l'explication du phénomène constaté par M. Mordey (1) d'amener le décrochage par une surexcitation d'un moteur alimenté par une ligne très résistante.

En général, la résistance, est assez faible, pour que l'augmentation du voltage corresponde à l'augmentation de la stabilité.

(1) *Proc. Instit. of E. E.* 1894.

Digitized by Google

Les graphiques de M. Blondel mettent nettement en évidence l'existence d'un courant minimum correspondant à une puissance donnée, et se produisant lorsque le courant I est en coïncidence de phase avec la tension E_1 du réseau. Si l'on porte sur deux axes rectangulaires les volts E_2 et l'intensité I, on retrouve les courbes en V, obtenues par M. Mordey sur ses machines, par M. Blondel sur un moteur Labour, et tout récemment encore par MM. Bedell et Ryan, quoique sous une forme un peu différente dans ce dernier cas, et due, suivant M. Blondel, à la présence d'une 3e harmonique importante.

Les diagrammes polaires précédemment obtenus, permettent également à l'auteur d'étudier la comparaison des puissances que peut fournir, sous une même différence de potentiel aux bornes, un alternateur soit comme générateur, soit comme moteur. Il reconnaît ainsi que sur réseau de grande puissance, à voltage constant, on peut compter (avec une légère augmentation de la force électromotrice E_2) sensiblement sur les mêmes puissance dans les deux cas.

Dans un transport de force, au contraire, la force électromotrice du moteur peut être de beaucoup supérieure à celle de l'alternateur.

M. Blondel étudie ensuite la question de l'influence des moteurs synchrones sur le fonctionnement général d'une distribution d'énergie par courants alternatifs.

Si nous reprenons le graphique de la figure 2 on voit que pour toutes les positions du point A_2 à gauche de NA_1, il y a production d'un courant déwatté en avance. On conçoit donc que, connaissant le facteur de puissance, et, par suite, les courants wattés et déwattés totaux fournis par l'usine génératrice, on puisse faire fournir à des moteurs synchrones, en réglant leur excitation, des courants déwattés en avant, sensiblement égaux aux précédents.

M. Blondel montre ainsi, par des exemples bien choisis, tous les avantages que peuvent tirer les Sociétés exploitant des secteurs à courants alternatifs, de l'introduction chez un certain nombre d'abonnés, de moteurs synchrones surexcités, lorsque les moteurs asynchrones sont déjà assez répandus dans le réseau.

L'introduction des moteurs asynchrones dans les réseaux à courants alternatifs a aussi pour inconvénient d'abaisser le voltage de la distribution; l'introduction d'un moteur synchrone surexcité permet de relever ce voltage, et constitue, particulièrement dans les convertisseurs polyphasés qui sont, en réalité, de vrais moteurs synchrones, un précieux auxiliaire pour maintenir ou faire varier suivant une loi déterminée, le voltage de la distribution. Le fonctionnement parfait des installations de Buhlach-Oerlikon, de Bockenheim et de la Chapelle à Epinay, le prouve suffisamment.

Devant ces avantages des moteurs synchrones, une comparaison sérieuse s'impose entre ceux-ci et les moteurs asynchrones, et la supériorité des moteurs synchrones est évidente, car ils ne sont inférieurs aux précédents, ni au point de vue du rendement, ni au point de vue du démarrage sans charge, lorsqu'ils sont munis d'amortisseurs.

J'espère, par cette courte étude, avoir convaincu mes lecteurs, non pas de la supériorité de la théorie de M. Blondel sur les autres théories connues des moteurs synchrones, une étude approfondie de sa brochure peut seule le faire, mais qu'il y a un certain intérêt pour eux à entreprendre cette étude.

F. GUILBERT.

SUR

LA TRANSMISSION ÉLECTRIQUE DE LA FORCE

POUR LES

APPLICATIONS MÉCANIQUES D'ATELIER

Quoique l'ère des applications de la transmission de la force par l'électricité soit ouverte depuis vingt ans et malgré les études

Digitized by Google

nombreuses et les perfectionnements journaliers, la question est loin d'avoir encore reçu tous les développements qu'elle devrait maintenant comporter.

Il y a, certes, des applications intéressantes mais les avantages n'en ont pas été rendus assez publics et beaucoup d'industriels doutent encore de la longue liste qui pourrait en être dressée tant chez nous qu'à l'étranger.

La principale cause du retard signalé par beaucoup d'électriciens, réside, croyons-nous, pour ce qui regarde la France, dans les conditions administratives imposées. Les municipalités, instruites par les difficultés créées par les compagnies gazières vis-à-vis des exploitations d'éclairage électrique, et craignant de s'engager à nouveau trop étroitement, n'ont accordé que des concessions à durée trop limitée.

La nécessité de rémunérer à bref délai les capitaux exposés a poussé les Sociétés électriques à rechercher la clientèle immédiate, celle qui demandait les études les plus sommaires, c'est-à-dire la clientèle que nous qualifierons de luxe — celle qui réclamait l'éclairage plus brillant que le gaz. Quoi qu'on dise, cette clientèle est restée limitée aux magasins et aux lieux publics ; l'éclairage électrique ne s'est pas domestiqué à cause de son prix élevé ; d'autre part la situation du gaz s'est améliorée par l'emploi du bec Auer et similaires ; une autre concurrence menace, à l'horizon, l'éclairage électrique et un avenir prochain nous apprendra pour combien il faut compter l'éclairage à l'acétylène.

Si ce dernier procédé réussit, comme on l'espère, que deviendront les exploitations de la plupart des stations centrales ?

On a beau multiplier les procédés ingénieux de distribution, la faiblesse des facteurs de charge est là : le prix de vente très élevé du kilowatt-heure.

Il est curieux de rappeler qu'après les retentissantes expériences de Vienne et de Creil, il n'était mis en doute par personne que l'heure était venue pour la transmission électrique de la force et qu'un grand problème était résolu. On s'est contenté cependant de la création de sociétés.... ayant l'éclairage électrique pour objectif principal.

Il a fallu de nombreuses années de pratique pour comprendre l'importance du facteur de charge et pour que la transmission électrique de la force s'impose comme la question vitale des usines centrales. Aussi n'est-il pas exagéré de dire que le développement des centres d'exploitation pour transmission dans les ateliers est tout récent.

Ces centres ont surtout été créés à l'étranger (Allemagne, Autriche, Suisse) ; ils ne sont pas encore nombreux mais en beaucoup d'endroits la part de la transmission de force est devenue importante. C'est ainsi que nous voyons la transmission de force par l'électricité absorber 20 p. 100 de la puissance des stations à New-York ; certaines stations de Suisse atteindre 48 p. 100 ; d'Allemagne, 50 p. 100 ; d'Autriche, 30 p. 100 ; tandis que les divers secteurs de Paris ont des coefficients variant, de ce chef, de 0,0015 à 0,047.

Nous engageons les lecteurs que la question intéresserait à consulter l'ouvrage très documenté que vient de publier M. Laffargue sous le titre : *Applications mécaniques de l'Energie électrique.*

L'étude des différents procédés de transformation de l'énergie a été souvent faite et bien faite ; nous n'avons pas la prétention de recommencer les comparaisons, mais seulement de mettre en garde contre la tendance des auteurs de ces études à favoriser les coefficients relatifs à la branche pour laquelle ils avaient des préférences. C'est dans l'établissement des coefficients que réside la difficulté ; ils diffèrent certainement suivant les cas particuliers. En principe, il n'y a pas d'autre moyen de se rendre compte de la valeur de systèmes différents qu'en dressant le projet de l'application qu'on a en vue avec chacun d'eux, mais il faut bien tenir compte de toutes les conditions de fonctionnement.

Dans le sujet qui nous occupe particulièrement — les transmissions d'atelier — le facteur de charge de chaque outil ou de chaque portion

Digitized by Google

de transmission ainsi que l'utilisation journalière sont très importants et, en général, assurent à la transmission électrique une supériorité incontestable.

La puissance moyenne de l'installation projetée doit également entrer en ligne de compte, et sitôt qu'on descend aux faibles puissances bien des modes concurrents sont éliminés ; il faut remarquer que, dès qu'il s'agit de petites puissances, le travail de l'outil prend par lui-même peu de chose et que les résistances passives des machines sont prépondérantes. Il en résulte que, la plupart du temps, les machines motrices fonctionnent à faible charge.

Partant de là nous voyons que le moteur à vapeur, ce qui n'est pas nouveau, ne se prête pas aux installations isolées de faible puissance : son rendement à faible charge étant désastreux. Le moteur à vapeur entraîne de plus avec lui une complication de transmission onéreuse à tous les points de vue comme nous tâcherons de le montrer plus loin.

La transmission par câbles n'est qu'une variante de transmission proprement dite, et laisse encore à établir le choix du moteur.

L'eau sous pression n'est avantageuse que si, à côté de la transmission de la force on fait la distribution d'eau. Le rapport Turettini (Genève, 1890) relatif au transport des eaux du lac Léman à Genève, ne laisse aucun doute à ce sujet et établit que le cheval heure peut revenir à 0 fr. 045 pour 100 chevaux transmis.

L'application plus récente du système van Rysselberghe, à Anvers, est basée sur le principe émis par van Rysselberghe, que l'électricité devait être générée sur son lieu d'utilisation. D'après les prévisions, le prix du kilowatt-heure ainsi obtenu devait être légèrement inférieur à celui de nos stations centrales ; les renseignements d'exploitation sont assez difficiles à obtenir, et ceux qui ont cours sont trop bas, avec les rendements de turbines et de dynamos pratiquement réalisables, pour permettre de croire à un succès exagéré.

Le gaz, les pétroles, malgré les bas prix possibles en certains endroits, n'offrent que des ressources encore limitées ; ainsi à Anvers, le mètre cube de gaz se paye 0 fr. 17. Si l'on examine de près le fonctionnement de cette classe de moteurs, on se heurte à bien des difficultés. D'abord le moteur à gaz ou à pétrole ne se prête pas à une grande réduction de la puissance comme on peut le faire avec l'électricité. Si cet inconvénient n'est pas le moindre, il en est d'autres plus graves : le démarrage plus ou moins difficile, les coups de collier, la nécessité du refroidissement et le graissage abondant.

En somme, le résultat des efforts tentés avec ces moteurs a été surtout de faire bien connaître les besoins de l'industrie domestique et l'étendue du champ d'exploitation qu'elle offre à l'électricité.

L'air comprimé, avant les débuts de l'électricité, a été réellement le seul mode qui ait donné des résultats pratiques ; mais il a contre lui la faiblesse du rendement qui est de 20 à 25 p. 100 avec les machines à pression élevée, et qui ne dépasse pas 35 ou 40 p. 100 avec les machines à basse pression, bien qu'au prix de mécanismes compliqués.

Ce qu'il faut à l'atelier et à l'ouvrier travaillant en chambre, c'est un engin simple remplaçant à bon marché les transmissions compliquées ou le travail de l'homme, et qui permette à celui-ci de concentrer son attention sur la façon proprement dite. Le moteur électrique remplit à merveille cette condition ; la transmission électrique de la force et la distribution de l'énergie électrique ont donc, à côté du rôle économique, un véritable rôle social.

Comment peut se faire en un point donné la distribution de l'énergie aux engins qui doivent l'absorber?

Nous pourrons réunir les modes de distribution en trois classes :

1° Emploi d'un moteur unique ;

2° Division des ateliers en groupes de transmissions commandées chacune par un moteur ;

3° Commande directe des machines-outils ou transmission détaillée.

Les avantages de la transmission électrique

Digitized by Google

sont surtout évidents dans les deux dernières classes.

Pour faire choix de la première classe, il suffit d'une simple comparaison tenant compte, pour la transmission électrique, du prix du kilowatt-heure, de l'entretien et du graissage du moteur, de l'appareillage et de l'amortissement, et, d'autre part, du coût des chaudières et de leur installation, du combustible, du moteur à vapeur, du coût de la conduite des machines, de l'entretien, du graissage et de l'amortissement.

Cette solution, comportant l'utilisation de grandes puissances, ne rentre pas dans notre cadre. Le choix à faire dépend de circonstances toutes locales.

L'économie principale due à l'électricité est surtout due aux avantages des deux autres classes et que l'on peut résumer ainsi qu'il suit :

Suppression de la plus grande partie des intermédiaires entre l'outil et le moteur.

Suppression des longues transmissions.

Facilité d'extension et de modification de la configuration des ateliers.

Division pour ainsi dire illimitée de la puissance; simplicité de mise en marche ou d'arrêt; réglage de la vitesse.

Constance du rendement à partir d'une faible fraction de la puissance normale.

Élasticité de la puissance permettant les démarrages, les à-coups et les surcharges.

Aucun des autres agents ne possède simultanément tous ces avantages au même degré que l'électricité.

Dès qu'il s'agit de véritable distribution, les deux avantages principaux de l'électricité sont : la suppression des transmissions intermédiaires et l'influence du facteur de charge de l'outil et de l'utilisation journalière, c'est-à-dire le temps réel pendant lequel l'outil est en action.

Dans l'utilisation journalière de l'outil, nous comprenons le temps réel pendant lequel la machine est en marche, c'est-à-dire avec les durées de mise en marche et d'arrêt inclusivement. Des nombreuses moyennes relevées, il résulte que jamais cette utilisation journalière ne dépasse 50 p. 100 de la journée de travail. Si l'on compte seulement le temps pendant lequel l'outil effectue un travail réel, ce coefficient tombe facilement à 25 p. 100. On conçoit immédiatement la perte d'énergie qui en résulte pour l'entraînement des transmissions; c'est un travail mort considérable avec tous les accessoires, graissage, courroies, etc., qui en résultent.

Sans tenir compte de la limite d'étendue pour l'établissement des transmissions, celles-ci représentent même pour des longueurs moyennes, une source de pertes considérables.

Déjà, en 1892, M. Richter, communiquait dans un rapport à *Elektroteknischer Verein* puis en 1893, dans *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure* (nos 38 et 39) les résultats d'essais effectués dans les ateliers de Siemens et Halske à Charlottenburg pour évaluer les répartitions des pertes dans les transmissions d'atelier.

Ces essais portaient d'abord sur la transmission de l'atelier de fabrication des lampes à arc, où les machines-outils sont commandées avec deux transmissions intermédiaires et un débrayage, soit au troisième degré. Il a été trouvé, en mesurant successivement la puissance absorbée par les intermédiaires pour une puissance totale d'environ 15 chevaux, les différents rendements suivants :

Rendement propre des machines-outils, moyenne	0,15
Rendement des embrayages non compris les courroies de commande des outils	0,948
Rendement des courroies du second intermédiaire aux débrayages	0,841
Rendement des arbres intermédiaires avec leurs courroies	0,916
Rendement de la transmission principale avec courroie	0,976

Le rendement de l'ensemble des transmissions seules est donc, sans les outils,

$$0,938 \times 0,841 \times 0,916 \times 0,976 = 0,706.$$

Dans une autre série d'essais il n'était considéré qu'un grand banc de tour avec un seul renvoi intermédiaire; il a été trouvé :

Digitized by Google

Rendement du tour, courroie comprise . . .	0,713
— du débrayage — . . .	0,938
— d'ensemble = 0,713 × 0,938 =	0,668

Ces chiffres sont certainement très élevés, et supposent un entretien parfait. Il y a encore à noter que la puissance absorbée par les outils est excessivement faible et, par conséquent, la puissance totale dépensée est presque constante, soit que l'outil travaille ou non.

En moyenne, on atteignait à Charlottenburg un rendement d'ensemble ne dépassant pas 65 p. 100.

En septembre et en octobre 1892, M. Hartmann communiquait à l'Association des Ingénieurs allemands les résultats d'essais effectués sur des transmissions mécaniques à deux degrés : la moyenne des rendements était de 45 p. 100.

Plus près encore, nous avons l'exemple de la manufacture d'Herstal, pour lequel les mécaniciens ne purent s'engager à un rendement garanti pour les longues transmissions.

Nous renvoyons au compte rendu, publié en 1894, du Congrès tenu à Paris en 1893, par les Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur et dans lequel des tableaux intéressants sur le rendement des installations mécaniques ont été publiés.

Nous avons été à même de relever quelques chiffres sur une installation mécanique moderne faite dans les ateliers de la *Maison Bréguet*, à Paris. Ces essais, faits en janvier 1895, ont confirmé la valeur moyenne des chiffres admis jusqu'à ce jour.

Ici les ateliers sont répartis en quatre travées de 9 mètres de largeur, séparées par des galeries A, B, C, D (fig. 1), couvertes d'un étage. Ces galeries supportent les arbres intermédiaires et les renvois ; toutes les transmissions des machines-outils sont du second degré

Au-dessus des galeries B et C sont installés les ateliers de petite mécanique dont les transmissions sont actionnées par des renvois portant des poulies P et P'. Pour le surplus de l'installation, le schéma figure 1, montre la disposition des lignes principales de transmission.

La décomposition des machines-outils est la suivante :

Machines à percer	8	rez-de-chaussée.
— à fraiser	11	
Tours	39	
Machines pour fabrication des fraises	5	
Mortaiseuses	2	
Raboteuses.	4	
Etaux limeurs	3	
Aléseuses.	3	
Meules et diverses.	11	
Tours d'horlogerie	50	premier étage.
— ordinaires	4	
Perceuses	3	
Fraiseuses	4	
Meules.	2	

Pour les essais, la transmission du beffroi de la salle des machines a été démanchonnée, et

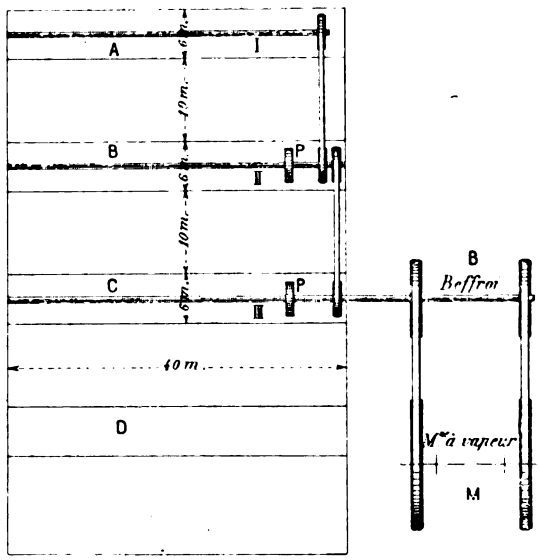


Fig. 1. — Plan schématique des transmissions des ateliers de la maison Bréguet.

des réceptrices ont été montées pour commander respectivement les transmissions I et II, d'une part, et III, de l'autre ; les relevés ont été faits avec soin pendant plusieurs jours.

La puissance totale absorbée, en tenant compte du rendement connu des réceptrices a été de 1 730 kgm avec toutes les courroies sur poulies folles et de 3 320 kgm avec les outils en travail soit pour les machines outils une puissance utile de 1 590 kgm.

Digitized by Google

Le rendement des transmissions non compris le beffroi est donc de

$$\frac{1590}{3320} = 0.48.$$

Au point de vue de la puissance absorbée par les différents outils d'autres éléments ont été relevés pour une transmission spéciale établie pour commander l'atelier de modelage et ébénisterie, situé à environ 40 mètres de la machine à vapeur, dans un bâtiment spécial.

Cet atelier est entraîné par une réceptrice unique commandant une transmission avec un intermédiaire.

Les essais ont été faits en embrayant successivement les machines-outils et ont donné les résultats suivants, abstraction faite du rendement du moteur :

	Puissance absorbée.
Transmissions seules avec poulies folles.	171 kgm.
Raboteuse en travail	97 —
Scie à ruban	114 —
Toupie à moulures.	142 —
Scies circulaires (deux	114 —
Mortaises (deux)	110 —
Scie alternative	50 —
1 meule, 1 perceuse et 2 tours	100 —

La puissance totale transmise est de 898 kgm. Le rendement à pleine charge de cette transmission est donc de

$$\frac{898 - 171}{898} = \frac{727}{898} = 0,809;$$

mais de la moyenne des relevés il résulte que la puissance transmise en service normal est au-dessous de ce chiffre, tous les outils ne travaillant pas simultanément; la moyenne, peu variable dans la journée, est de 7 à 9 chevaux, soit 525 à 675 kgm.

En admettant, ce qui est suffisamment exact, que les résistances passives des transmissions soient constantes, on a, pour le rendement journalier moyen

$$\frac{525 - 171}{525} = 0,665$$

à

$$\frac{675 - 171}{675} = 0,745.$$

Le rendement de l'électro-moteur étant de 0,83, celui de la ligne de 0,95 et celui de la génératrice 0,87, le rendement global devient

$$0,87 . 0,95 . 0,665 . 0,83 = 0,455$$

à

$$0,87 . 0,95 . 0,745 . 0,83 = 0,51.$$

Primitivement, cette installation était commandée par un câble télodynamique et le rendement mécanique s'établissait ainsi, au maximum.

$$\underset{\text{Câbles}}{0,75} \times \underset{\text{Renvois}}{0,70} \times \underset{\text{Transmissions d'outils}}{0,665} = 0,345.$$

En outre les réparations étaient fréquentes ; les frais d'entretien et de réparation du câble s'élevaient en moyenne à 200 francs par année. On voit donc l'avantage sensible de la transmission électrique. A part le rendement commercial le câble supportait difficilement les à-coups et dans le fonctionnement simultané des outils donnait de violents ébranlements à la construction tandis que le moteur électrique a une marche douce et supporte sans inconvénient une surcharge brusque, mais momentanée de 50 p. 100.

Pour citer un dernier exemple d'économie nous mentionnerons la transmission électrique détaillée des ateliers des Chemins de fer du Nord, à Saint-Ouen. Anciennement, avec la commande par moteur à gaz la dépense était de 13 francs par jour; en 1892, avec la transmission électrique elle était inférieure à 1500 francs pour 3041 kilowatts-heure et en 1893, moins de 1700 francs pour 3582 kw.-heure (voir la *Revue des Chemins de fer* de août 1892). Dans la nouvelle installation, où l'on compte annuellement 300 jours de travail, l'entretien est fait deux heures par semaine par les ouvriers eux-mêmes.

Dans quel cas maintenant devra-t-on s'arrêter à une classe de transmission plutôt qu'à une autre?

Dans chaque cas particulier une étude sérieuse permettra de faire le choix judicieux des moyens, mais nous croyons être dans les limites raisonnables d'une bonne pratique en indiquant, comme base, que chaque renvoi inter-

Digitized by Google

médiaire, courroie comprise, rend de 0,90 à 0,95 de la puissance reçue.

En principe, la transmission par groupes permet un prix restreint des moteurs et un rendement de ceux-ci plus élevé; elle s'applique particulièrement dans les installations pour lesquelles la fabrication est suivie, uniforme et comporte des outils semblables, nombreux et une utilisation journalière sensiblement constante. Telles sont les manufactures d'armes et les locations de force motrice. Dans ce dernier cas, les moteurs électriques permettent d'établir des prix de base plus équitables que les locations à forfait, l'énergie consommée pouvant être facilement mesurée.

Dès que la puissance absorbée par chaque machine-outil atteint 1 cheval, la transmission détaillée prend l'avantage. Ces moteurs, en effet, ont sans difficulté 0,75 de rendement, avec 0,90 pour la ligne et 0,80 à 0,90 pour les organes de réduction, le rendement combiné de la machine-outil et de son installation atteint de 0,54 à 0,60.

Avec des moteurs de 1/4 de cheval, en admettant 0,60 de rendement, le rendement combiné est encore de 0,43 à 0,48. Si, dans ce cas, on tient compte de l'utilisation journalière, il arrivera souvent que l'avantage sera encore pour la transmission détaillée. Ce mode permet de placer la machine-outil là où besoin est et ne nécessite plus, comme la transmission mécanique, le voisinage des murs ou piliers.

Les machines qui travaillent avec de longs arrêts comme les grues, les ponts roulants, les treuils se prêtent donc particulièrement à la transmission détaillée. Si plusieurs mouvements doivent être obtenus, il est préférable d'employer un moteur distinct pour chaque mouvement à cause de la simplicité qui en résultera pour les organes.

Quant à la puissance à donner aux moteurs il suffit selon nous d'adopter la puissance moyenne nécessaire pendant la plus grande partie de l'utilisation journalière et calculer le moteur pour le rendement maximum dans ces conditions. Le moteur devra être assez large pour développer l'effort maximum pendant le temps voulu sans égard du rendement.

Le genre de moteur choisi dépendra de l'application.

Si l'effort de l'outil est constant et le démarrage pénible ou bien si l'effort est peu variable et la variation de vitesse indifférente le moteur en série conviendra parfaitement.

Dans tous les autres cas le moteur shunt ou le moteur à enroulement compound pourront être employés. Le moteur shunt exige un rhéostat de démarrage, sauf pour les très petites puissances, l'induit ayant alors une résistance notable par rapport à celle des inducteurs. Si le démarrage est difficile, quelques tours en série et de sens concourant avec le shunt suffisent pour l'assurer sans affecter sensiblement la constance de la vitesse; c'est, en somme, enrouler le rhéostat de démarrage sur les inducteurs. Sur des moteurs jusque 5 chevaux, nous avons employé cette disposition avec succès en prenant pour les ampèretours en série — pour la puissance normale — le 1/10 de l'excitation totale au plus. Au delà de cette puissance nous estimons qu'il est nécessaire d'étudier le compoundage du moteur. Si l'on veut réaliser la constance absolue de la vitesse on peut adopter un dispositif qui laisse l'enroulement en série concourant avec le shunt pour le démarrage et qui permette de l'inverser immédiatement après. Il ne faut pas oublier que le compoundage inverse affaiblit l'excitation à mesure que la charge augmente et que, par conséquent, s'il permet de maintenir la vitesse constante, c'est par diminution du champ et par suite affaiblissement léger du rendement.

Jusqu'ici il a été peu construit de machines-outils spécialement appropriées à la commande électrique. En général, l'attaque directe de l'outil par le moteur est l'exception et il faut recourir à des intermédiaires : courroies, cordes flexibles, engrenages, vis, etc., il peut ne pas être inutile, à ce point de vue, de rapporter les principaux coefficients à adopter pour les différents modes de réduction.

Il y a grand intérêt, vu le très faible rendement propre — 0,15 en moyenne — à la machine-outil à réduire le nombre des intermédiaires.

Digitized by Google

Les commandes par courroies ou par cordes, lorsqu'elles sont possibles, sont les plus avantageuses, une courroie bien établie rendant 0,95 à 0,98 de la puissance fournie.

En ce qui concerne les engrenages nous avons pu faire quelques essais dans diverses conditions, mais toujours pour des applications d'électro-moteurs.

Dans chaque cas les essais ont été relevés pour une série de vitesses, la vitesse étant maintenue constante pour un même essai. Le rendement de l'électromoteur était déterminé en mesurant les résistances passives pour chaque point ainsi que les pertes par effet Joule. La puissance disponible a été notée au moyen de la balance dynamométrique Raffard, en accouplant celle-ci successivement avec l'induit puis avec chacun des arbres intermédiaires et enfin avec l'arbre principal.

Nous avons pu séparer ainsi les différentes pertes et contrôler les différents résultats obtenus.

Les premiers essais relatifs aux engrenages droits et à chevrons ont été réalisés sur des treuils destinés à la marine, dont on trouvera plus loin une description sommaire.

La réduction de vitesse était obtenue à 2 degrés au moyen d'engrenages en fonte, non taillés à la machine mais soigneusement retouchés et rodés à l'ajustage; les rapports de réduction dans les différents appareils étaient de 15, 18 et 28. La première réduction était obtenue au moyen de dentures hélicoïdes chevronnées. L'induit tournait dans un cas à 750 tours-minute en développant normalement 450 kgm. sur son arbre, et dans les deux autres cas à 825 tours-minute développant une puissance de 275 à 225 kgm.

Le rendement des trains d'engrenages pour cette double réduction de vitesse a été trouvé de 0,85 de la puissance disponible sur l'arbre de l'induit donnant pour l'ensemble de l'appareil un rendement combiné net de 0,725. Ces chiffres ont été confirmés à très peu de chose près pour les trois types soumis aux essais.

Sur les mêmes appareils les essais répétés à des vitesses constantes de 300, 800 et 1 200 tours ont montré que le rendement des engrenages était très sensiblement constant entre ces limites et qu'on pouvait compter pour chaque intermédiaire un rendement propre de 0,92.

Une autre série d'essais a été effectuée sur des électro-moteurs de 50 et 75 kgm. à des vitesses variant de 1 600 à 2 400 tours-minute à l'arbre de l'induit et pour des charges maintenues constantes au frein et successivement dans le rapport des nombres 7, 9, 11; la réduction de vitesse était du premier degré.

Les engrenages, dans ce cas, étaient en bronze et taillés à la machine ainsi que les pignons qui étaient en acier; le jeu dans la denture était très faible.

Nous avons constaté que le rendement de l'engrenage diminuait un peu avec l'augmentation de charge sur la denture; mais le rendement moyen s'est maintenu à 0,90.

Les engrenages d'angle, lorsqu'ils sont soigneusement montés, donnent des résultats analogues aux engrenages directs.

Si les engrenages ordinaires donnent, en somme, de bons résultats, il n'en est malheureusement pas de même pour les réductions par vis sans fin. Quel que soit le soin apporté dans la taille et à l'ajustage, nous n'avons pu obtenir pour une puissance ne dépassant pas 100 kgm. un rendement propre de la vis supérieur à 60 p. 100.

Sur l'appareil essayé, la réduction était de 1/40.

La vitesse de l'induit a été portée jusque 1 600 tours-minute et la puissance utile mesurée pour des charges constantes sur le tambour de 10, 20, 40, 60, 80, 100 et 140 kg.; le rendement moyen de la vis dans ces expériences a été de 40 p. 100 et le maximum de 60 p. 100.

Crosso modo si l'on admet que les vis permettent d'obtenir directement une réduction quatre fois plus forte qu'un simple engrenage, on peut compter que le rendement de la vis est le même que si l'on employait quatre réductions successives par engrenage.

Des essais de réduction de vitesse par friction au moyen de pignons lisses en carton com-

Digitized by Google

primé et durci attaquant des roues en fonte à jantes bien polies ont donné sur des électro-moteurs de 50 kgm., pour des vitesses variant de 200 à 1400 tours et une double réduction de rapport total égal à 33, les résultats suivants :

Nombre de tours de l'induit. . .		
	à 200 t/m, rendement de la double réduction.	0,50
	à 800 t/m, rendement de la double réduction.	0,60
	à 1400 t/m, rendement de la double réduction.	0,62

Au delà de 1400 tours-minute, le rendement n'augmentait plus.

Ce procédé d'entraînement est donc légèrement meilleur pour les grandes vitesses, mais il exige un ajustage très précis et s'il a l'avantage d'être moins bruyant que les engrenages, il a, par contre, un rendement moins élevé. D'un autre côté, l'entraînement par friction peut être réglé comme limiteur de charge du moteur, le serrage des pignons pouvant être tel que le glissement soit obtenu au delà d'un certain effort.

La commande des outils au moyen d'un flexible est un procédé très avantageux mais qui ne peut être considéré que comme un accouplement direct soit avec l'électro-moteur, soit avec des organes intermédiaires reliés à leur tour au moteur dans le but de réduire la vitesse ; ils n'absorbent donc pas de puissance pendant le travail dès que l'entraînement est produit.

En ces derniers temps un procédé très avantageux a été mis en pratique, c'est l'accouplement électro-magnétique de Bovet qui sert à la fois d'accouplement et d'appareil de limite automatique de charge ; à cet égard il remplace avantageusement les dispositifs de freinage mécanique compliqués.

Comme réducteur de vitesse, l'application de l'entraînement électro-magnétique a été employé mais principalement avec contact du pignon à l'intérieur de la roue entraînante. Les comptes rendus qui ont été fournis récemment sur ce système nous dispensent d'entrer dans des détails.

Nous croyons cependant, *à priori*, que le rendement d'un appareil électromagnétique de réduction de vitesse doit être très voisin de celui de l'entraînement par friction ordinaire et doit nécessiter un montage tout aussi précis.

(*A suivre*). E.-J. BRUNSWICK.

LE TRAMWAY ÉLECTRIQUE

A RAIL SECTIONNÉ

SYSTÈME CLARET ET VUILLEUMIER

Dans notre précédent article (1) nous avons examiné le mécanisme de distribution du courant et nous avons vu qu'au point de vue de la sécurité et du fonctionnement du matériel, l'incident le plus grave qui peut se produire, consiste dans l'arrêt des voitures du tramway, par suite soit d'un dérangement du distributeur, soit de l'entrée d'un véhicule dans une zône occupée.

Mais il est un autre point bien plus important à considérer, c'est la sécurité des piétons et des chevaux circulant sur la voie. Tant que le tramway fonctionne d'une façon normale, aucun accident de personne n'est à craindre, même avec une tension de distribution très élevée, puisque seuls les tronçons de rails qui se trouvent placés sous les voitures sont en relation avec le pôle positif de la dynamo E (fig. 5 et 6). Si à un moment donné l'électro-aimant du distributeur ne fonctionne pas, cet appareil s'arrête immédiatement. La manette reste par exemple sur la touche t_2 au lieu de passer sur la touche t_3 et le fil de distribution X se trouve relié en permanence au rail A Le véhicule ne s'arrête pas instantanément ; il continue sa marche pendant un certain temps en vertu de la vitesse acquise, quoique son moteur ne reçoive plus de courant dès que le frotteur d'arrière f' a dépassé le rail A_2. Mais le rail A_2 qui est resté relié à la dynamo n'étant

(1) Voy. *L'Eclairage Électrique*, n° du 4 mai 1895, p. 211.

Digitized by Google

plus alors couvert par la voiture, deviendra accessible aux passants circulant sur la voie ce qui sera très dangereux si la tension est de 500 volts.

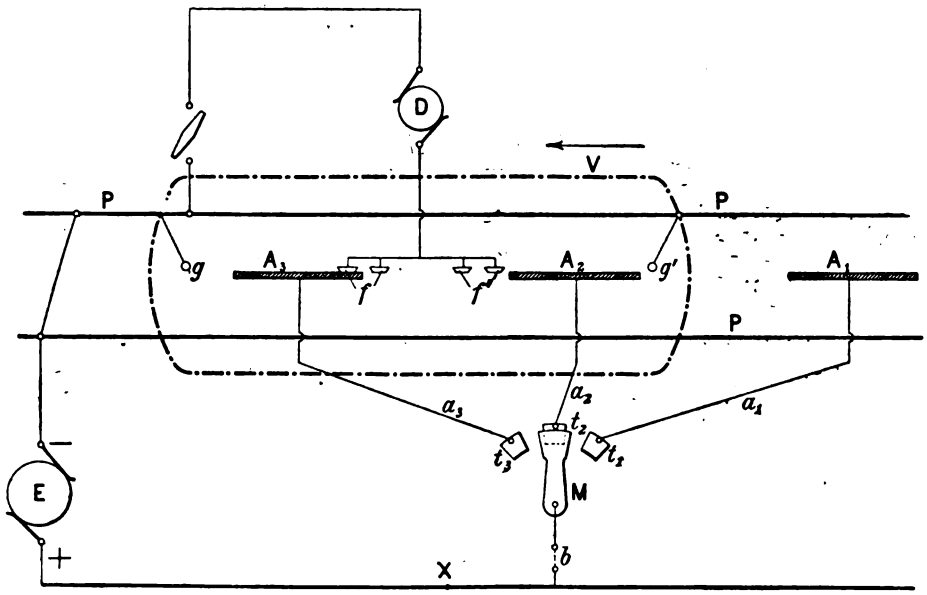


Fig. 5. — Premier dispositif de sûreté.

Il est donc indispensable d'avoir un dispositif qui coupe la communication du câble de distribution X avec la voie en même temps que le courant se trouve coupé dans le moteur

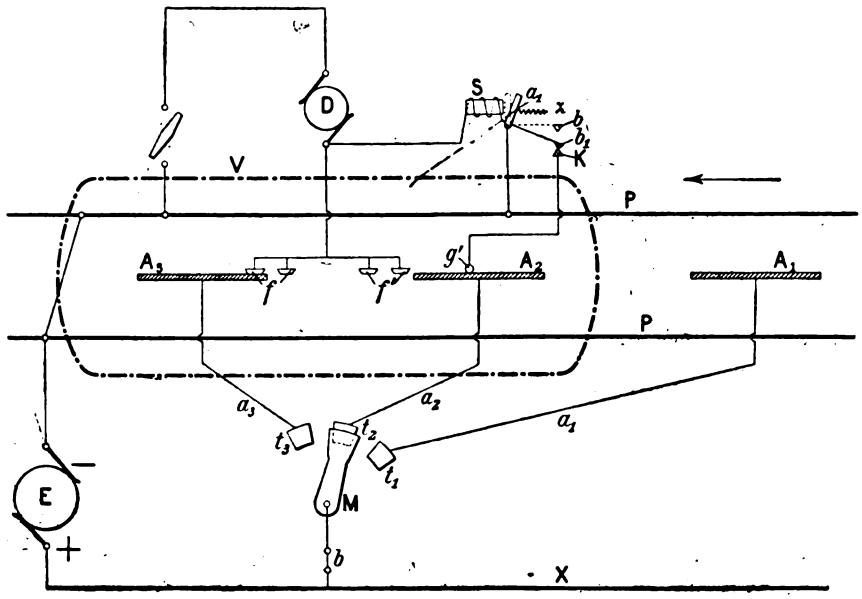


Fig. 6. — Second dispositif de sûreté.

par suite d'un dérangement du distributeur. Si le courant n'arrive plus dans le moteur parce que la voiture a pénétré dans une zone déjà occupée il n'y a aucun danger à ce que le

Digitized by Google

véhicule continue sa marche pendant quelque temps, car au moment où la voiture quitte le dernier tronçon de rail de la zone précédente pour pénétrer sur la zone occupée, la manette du distributeur de la première zone s'arrête au moment où elle se trouve arrivée sur la touche de repos qui est isolée. Il n'y a donc plus aucune communication de la dynamo avec la zone primitive et il ne peut pas y en avoir non plus avec les premiers rails découverts de la nouvelle zone, car cette zone étant occupée cela signifie que son distributeur est déjà arrivé à des sections de rails plus éloignés.

M. Vuilleumier a proposé comme appareil de sûreté d'adapter au tramway deux galets frottant sur le rail sectionné et placés aux deux

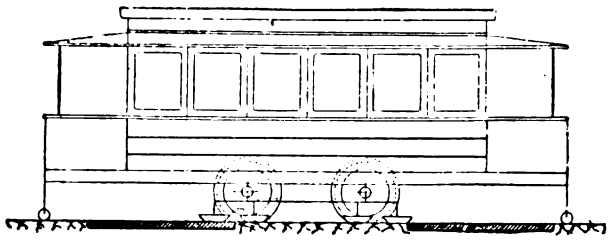


Fig. 7. — Voiture de tramway avec dispositif de sûreté.

extrémités de la voiture, l'un servant pour la marche en avant et l'autre pour la marche en arrière. La figure 7 montre l'aspect de la voiture avec ses frotteurs et ses galets.

Une première disposition consiste à fixer simplement les galets au châssis du véhicule. Les galets sont ainsi reliés électriquement à la voie de roulement P (fig. 5) qui sert de conducteur de retour au courant. Des coupe-circuits fusibles sont placés soit sur le branchement principal *b* partant du câble de distribution X soit sur les fils de branchement a_1 a_2 a_3 reliant les touches du distributeur aux tronçons de rails. La distance qui sépare les galets *g* ou *g'* des frotteurs *f* ou *f'* est supérieure à la longueur d'un tronçon de rails A_1 A_2 A_3, de sorte qu'en marche normale les galets n'appuient jamais que sur des tronçons de rails isolés. Par exemple lorsque le galet *g'* arrive sur le rail A_2 le frotteur d'arrière *f'* l'a déjà quitté et par conséquent la manette M est passée sur la touche t_3, si le distributeur marche bien. Mais si le distributeur ne fonctionne pas, la manette M restant sur la touche t_2, le câble de distribution se trouve relié en court circuit à la voie de roulement ou conducteur de retour P au travers de la manette M, de la touche t_2, du rail A_2, du galet *g'*, du châssis et des roues du véhicule. Le coupe-circuit *b* fondra aussitôt et rompra ainsi toute communication du rail sectionné avec la dynamo. Il n'y aura donc plus aucun danger à toucher les rails A_2 A_3 lorsqu'ils auront été découverts par la voiture.

Si la voiture pénètre dans une zone déjà occupée, l'appareil de sûreté ne fonctionne pas parce que la section de câble sur laquelle frotte le galet *g'* n'est plus électrisée.

M. Vuilleumier a imaginé un second dispositif dans lequel le galet frotteur *g'*, placé à une distance du frotteur *f'* inférieure à la longueur d'un tronçon de rail, est isolé du châssis et relié à un contact K placé sur le véhicule (fig. 6). Ce dernier porte également un coupe-circuit automatique formé d'un électro-aimant S et d'une armature *ab* rappelée par un ressort Z. L'électro-aimant S, qui est très résistant, est relié d'une part aux frotteurs et d'autre part au châssis de la voiture, qui est également réuni à l'armature *ab*. Lorsque le distributeur fonctionne régulièrement, l'électro S se trouve constamment en dérivation entre les deux pôles de la dynamo, et l'armature *ab* étant attirée (position marquée en pointillé) le contact K est ouvert et le galet reste complètement isolé. Si à un moment donné le distributeur s'arrête, en t_2 A_2 par exemple, le courant n'arrivant pas en A_2 l'électro S qui ne reçoit plus de courant, laisse tomber l'armature *ab* qui vient toucher le contact K. Le câble de distribution X et la voie de roulement P sont alors réunis en court circuit par le galet *g'* et la touche t_2, et le plomb fusible *b* saute aussitôt.

Si le courant se trouve coupé dans le moteur parce que le véhicule a pénétré sur une zone déjà occupée, l'armature *ab* tombe en $a_1 b_1$ mais le coupe-circuit ne fond pas, parce que de même

Digitized by Google

qu'avec le premier dispositif la section de câble sur laquelle frotte le galet n'est plus électrisée.

La seconde disposition de sûreté, qui nécessite un électro-aimant en dérivation sur 500 volts, est relativement compliquée, et ne donne pas la certitude d'une sécurité complète.

En effet l'armature restant toujours collée à l'électro, du matin jusqu'au soir, même quand le tramway s'arrête, et les dérangements des distributeurs étant excessivement rares, il est à craindre que lorsqu'un dérangement se produira l'armature au lieu de tomber, comme elle devrait le faire, restera collée par suite de magnétisme rémanent, affaiblissement du ressort de rappel, ankylose des axes, etc. L'hypothèse que nous faisons n'a rien d'invraisemblable, car nous avons eu l'occasion de voir des appareils analogues de sûreté à électro-aimant qui, ne fonctionnant que rarement, sont précisément restés immobiles au moment où un dérangement s'est déclaré.

La première disposition nous paraît bien préférable, parce qu'elle n'introduit pas de complication dans l'équipement de la voiture et qu'on est certain de la voir fonctionner au moment opportun.

En résumé, en employant l'un ou l'autre des systèmes de sûreté, la sécurité se trouve assurée en cas de dérangement quelconque, aussi bien pour les personnes que pour le matériel. Tous les incidents se traduiront simplement par un arrêt de fonctionnement du tramway sur une zone de distributeur. Les incidents seront de deux sortes. Lorsque l'arrêt aura été provoqué par l'entrée d'une voiture dans une zone déjà occupée il suffira, pour remettre la zone en fonctionnement, de replacer le distributeur à la touche voulue. Si l'incident provient d'un dérangement de l'électro-aimant du distributeur, il faudra d'abord remettre le distributeur en bon état et remplacer ensuite les coupe-circuits fondus.

Ayant examiné en détail le fonctionnement du mode de traction système Claret et Vuilleumier, nous pouvons aborder à présent la description proprement dite de la ligne de tramway installée l'année dernière d'après ce système à Lyon. La ligne, qui suivait sur 3.2 km.de longueur les quais de la rive gauche du Rhône, depuis le pont Lafayette jusqu'à l'entrée du parc de la Tête-d'Or, a transporté un grand nombre de visiteurs pendant toute la durée de l'Exposition qui s'est tenue dans le parc de mai à novembre 1894. Mais elle a été établie surtout en vue de fournir une démonstration pratique du système Claret et Vuilleumier.

Comme on prévoyait qu'elle ne subsisterait pas après la fermeture de l'Exposition, on a cherché à la construire le plus économiquement possible ; c'est ainsi que certains matériaux, tels que les câbles, ont été simplement prêtés à la Société du tramway, à titre d'expositions particulières par des industriels.

La voie de roulement, dont l'écartement est de 1 mètre, est posée à la manière ordinaire avec rail et contre-rail sur la chaussée du quai pavée en bois. Au milieu de la voie se trouve une bande continue, de 0 m. 20 de largeur, formée de pavés en bois de petites dimensions, reposant sur une couche de bitume artificiel formant isolant électrique, et reliés entre eux également par du bitume (fig. 8, 9 et 10). Cette bande isolée porte sur toute sa longueur des rainures latérales (voir fig. 8) creusées dans les pavés mêmes, et servant à loger les fils de distribution du courant. Elle comprend alternativement une partie pleine constituée uniquement par des pavés (coupe *ab* de la fig. 8) et une partie portant un tronçon de rail conducteur. Ce dernier, qui consiste en un rail Vignole renversé dont le patin vient à l'affleurement du sol, est encastré dans deux pavés en bois entaillés convenablement et entre lesquels on coule du bitume (fig. 9). On obtient ainsi un isolement du rail sectionné qui n'atteint pas une valeur très élevée, mais qui reste toujours suffisante, même par les plus mauvais temps, avec une tension de 500 volts, d'autant plus que les piétons n'ont à craindre aucun contact avec les rails électrisés.

Des précautions spéciales sont prises, comme le montrent les figures 11 et 12, pour que les

Digitized by Google

patins frotteurs des véhicules ne puissent pas créer de courts circuits au croisement de la voie suivie par la voiture avec une autre voie électrique ou avec une voie de tramway ordinaire. Dans les points où elle pourrait être touchée par les frotteurs du véhicule, les rails de roulement de la seconde voie sont formés de tronçons de rails isolés électriquement les uns des autres par de la vulcanite. Ces portions de voie spéciales, qui sont marquées en noir sur les figures 11 et 12, présentent les mêmes qualités de roulement qu'une voie à rails ordinaires.

Sur chaque tronçon du rail conducteur est soudé, avant la pose, un fil de cuivre de 6 à 7 mm² de section, isolé au caoutchouc. Cette section est suffisante pour donner passage au courant absorbé par une voiture, même si ce courant atteint 30 ampères, parce que le conducteur n'est parcouru par le courant que pendant le temps très court où le rail correspondant est couvert par la voiture, soit deux à trois secondes au plus. Les conducteurs provenant de six tronçons successifs sont placés dans les rainures latérales de la bande centrale en bois de la voie. Les 12 fils de chaque zone arrivant 6 d'un côté et 6 de l'autre, se réunissent dans un caniveau transversal (voir coupe *cd*, fig. 9 et 10), disposé à 0 m. 25 du sol au milieu de la zone et débouchant dans un regard ou puits maçonné de 0 m. 90 de profondeur et 0 m. 60 de diamètre. Dans ce regard, qui est fermé au niveau du sol par une plaque en fonte, est placé le distributeur auquel aboutissent latéralement les deux petits fils de distribution.

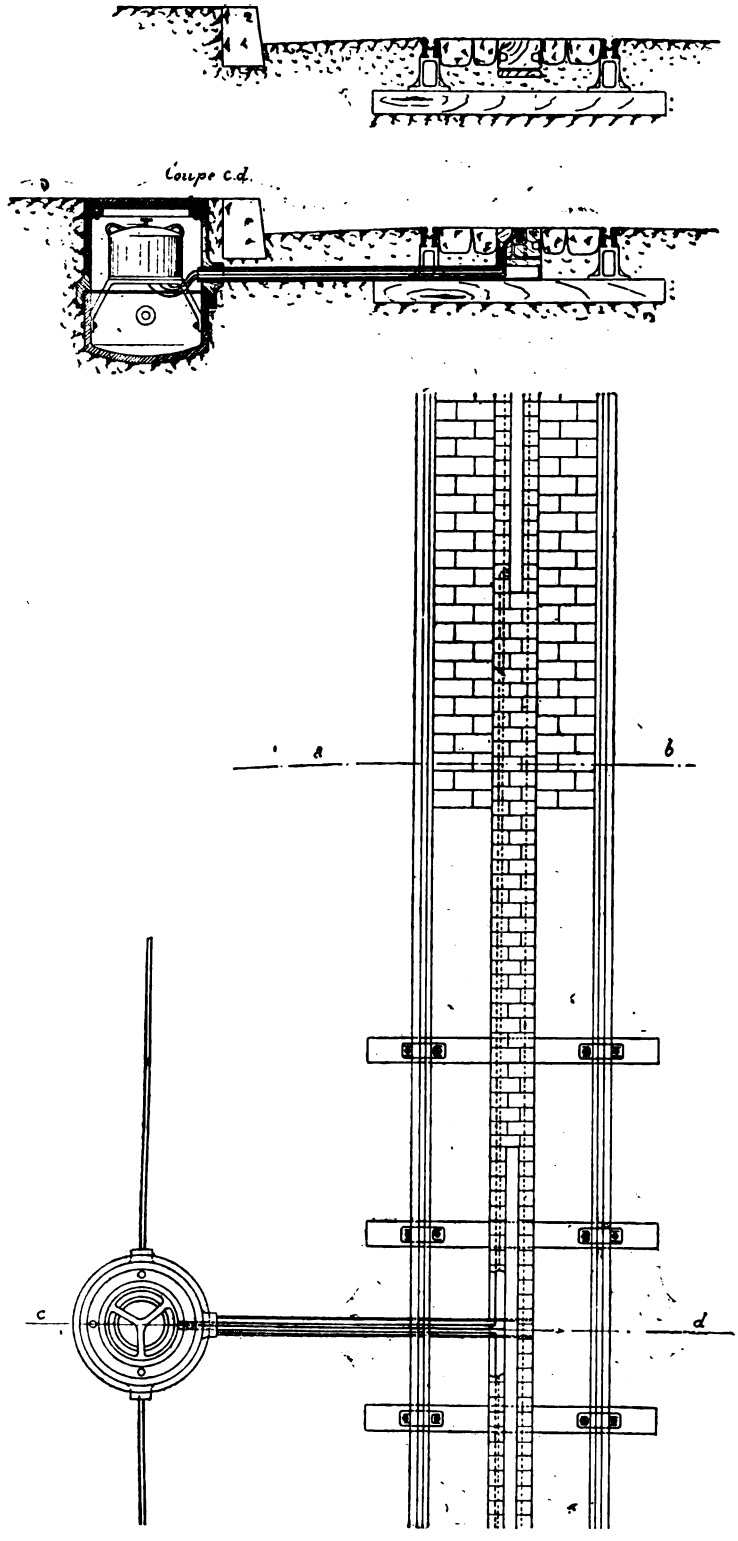


Fig. 8, 9 et 10. — Disposition de la voie électrique.

Digitized by Google

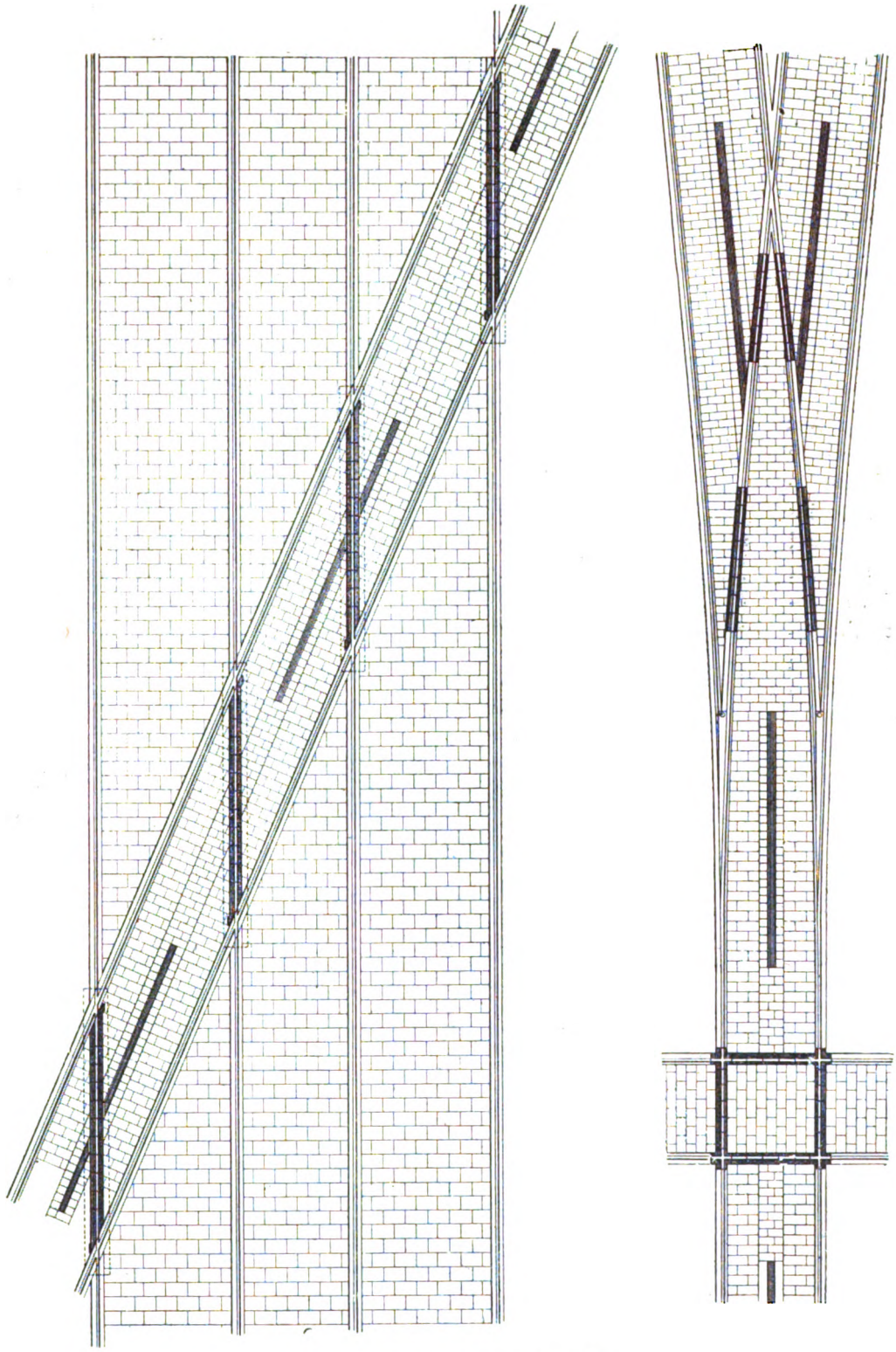


Fig. 11 et 12. — Croisement des voies.

Digitized by Google

Le câble principal de distribution, dont la section est de 90 mm², est isolé au caoutchouc et porte un tube en plomb et une armature en fer. Il est placé directement dans le sol, parallèlement à la voie, à une profondeur de 0 m. 60 et à une distance de 1 m. 50 des rails. Il traverse longitudinalement les puits à distribuateur, et se trouve relié à chaque distributeur par un câble de dérivation très court.

Le distributeur, protégé par une enveloppe fermant hermétiquement, est placé dans le regard sur un support assez élevé permettant l'accumulation de l'eau de condensation au fond du puits

Le distributeur proprement dit, représenté en perspective sur la figure 13, a l'aspect extérieur d'une pièce cylindrique d'environ 0,35 m. de diamètre sur 0,20 de hauteur. A la partie supérieure se trouve un anneau horizontal fixe portant 11 touches pleines et une touche en 2 segments. Ces touches sont en laiton, mais peuvent être également construites en fer ou même en charbon. Sur la couronne fixe sont vissées 3 lames de laiton disposées radialement à 120° d'intervalle. Ces 3 lames portent 3 balais fixes en charbon qui viennent s'appuyer sur 3 cercles concentriques horizontaux montés sur un plateau supérieur, mobile autour d'un axe vertical. Le mécanisme du distributeur, comprenant le poids moteur, l'électro-aimant, le cliquet et la roue à rochets est placé au-dessous du plateau supérieur mobile. Afin d'éviter le matage qui se produirait par les chocs répétés du cliquet en acier contre la roue à rochets en fonte, cette dernière est faite en deux parties : le corps central de la roue et une couronne à dents, reliés ensemble par un accouplement élastique amortissant les chocs. Sur le plateau supérieur mobile sont montées 3 manettes, formées de lames de cuivre superposées destinées à frotter sur les touches de la couronne fixe. Ces 3 manettes sont disposées radialement à 30° d'intervalle, la manette large et courte se trouvant entre 2 manettes longues et étroites.

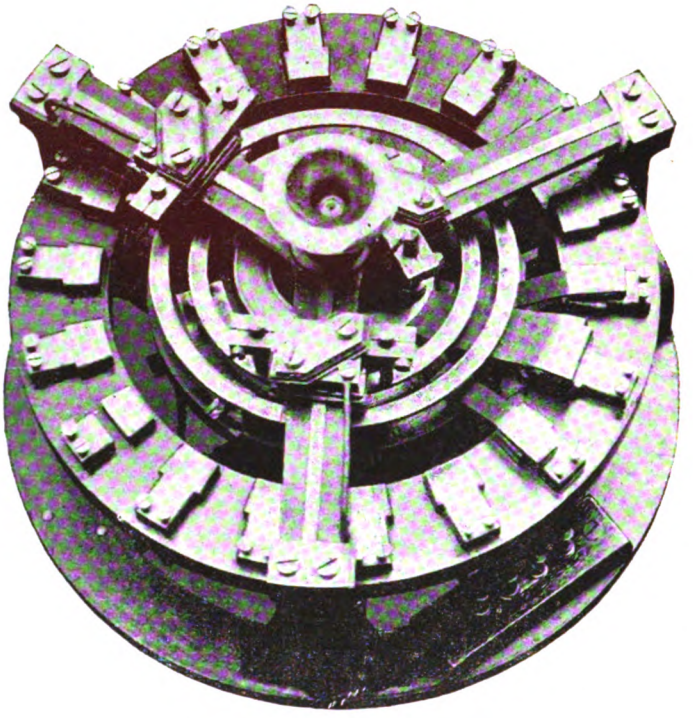


Fig. 13. — Vue du distributeur.

L'électro-aimant qui est placé en dérivation entre le câble de distribution et le rail sectionné, c'est-à-dire sur une tension de 500 volts, a une résistance de 5 000 ohms. Comme il n'est parcouru par le courant que pendant une fraction de seconde, il n'a pas le temps de s'échauffer, et peut supporter une densité de courant très forte, ce qui permet de le confectionner avec du fil très fin, de 12/100 à 15/100 de millimètre.

(*A suivre.*) CH. JACQUIN.

Digitized by Google

REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

Pertes dans les stations centrales et les transmissions électriques, par A.-B. Herrick.

L'*Electrical Engineer*, de New-York, publie sous ce titre des notes préparées par l'auteur en vue de la réunion de la *National Electric Light Association* tenue à Cleveland du 19 au 21 février dernier.

Ce titre embrasse un sujet des plus importants; c'est en effet l'étude attentive de ces pertes et leur réduction qui diminueront dans l'avenir le coût de production de l'énergie électrique par rapport aux systèmes actuels de génération et de transmission dans l'exploitation des stations centrales. Il n'existe malheureusement pas de solution générale du problème, et les données d'exploitation dans un cas déterminé peuvent seules être utilement discutées. Depuis la forme potentielle emmagasinée dans le charbon brûlé sous les générateurs jusqu'à son passage sous forme électrique dans le compteur placé chez l'abonné, l'énergie est soumise à une série de déperditions successives dues aux transformations qu'elle subit, et ces pertes doivent se trouver comprises dans le prix du courant utilisable fourni au consommateur.

Il est intéressant de passer rapidement en revue quelques-unes des pertes, tant inévitables qu'anormales, qui se produisent dans la transmission de l'énergie électrique des balais de la dynamo au compteur de l'abonné. D'une manière générale, les pertes d'une station peuvent se diviser en deux parts : d'abord celles inhérentes au transport de l'énergie électrique à travers un milieu conducteur quelconque; en second lieu celles qu'on peut qualifier d'extraordinaires ou anormales et provenant de systèmes conducteurs mal proportionnés, de l'emplacement défectueux de la station centrale au point de vue du système de distribution, des modes antiéconomiques de contrôle et de réglage, et de nombreux autres détails d'établissement de cette station centrale susceptibles de réduire les résultats financiers de toute l'installation au-dessous des prévisions, en raison de l'importance annuelle de ces pertes.

Dans la pose du réseau conducteur, on peut augmenter considérablement les pertes par une canalisation mal combinée jusqu'aux points de distribution et d'alimentation; ou bien la station peut avoir été placée trop loin du centre moyen de distribution, en vue de réaliser une économie, telle que l'approvisionnement d'eau pour des condenseurs, l'approvisionnement de combustible, ou même la fourniture de la puissance initiale hydraulique. Dans ces conditions, si raisonnées qu'elles aient été, la perte d'énergie dans la transmission au centre de distribution peut dépasser l'économie qu'on a cherché à réaliser dans la production.

Mais il est un autre facteur de la plus haute importance qui intervient dans le problème des pertes; c'est la courbe de charge de la station. Au fur et à mesure que la charge de la station augmente, la perte augmente encore plus rapidement, et, par suite, la quantité de cuivre qu'il serait économique d'immobiliser dans une installation dont la courbe de charge serait une ligne droite sera très différente de celle exigée par une courbe de charge présentant un sommet élevé de courte durée. La courbe de charge, au point de vue des pertes, comporte deux éléments, l'intensité du courant et le temps. Leur produit fournit un nouveau facteur diversement relié au facteur de perte.

La perte moyenne de charge ne donne pas la valeur commerciale de la perte totale. Cette dernière ne peut être déterminée d'une façon positive que quand on connaît les conditions de fonctionnement du système de distribution. Certains éléments qui font partie du problème de la perte générale peuvent avantageusement solliciter l'attention du directeur de la station. L'un concerne les dépenses dont doit être grevée la perte d'énergie électrique dans la

Digitized by Google

détermination de son prix de revient. Les uns prétendent que cette perte doit être uniquement grevée du prix du charbon supplémentaire nécessaire à la production du courant ainsi gaspillé; d'autres soutiennent que la dépense affectée à ces pertes doit être proportionnelle au coût de production du courant, abstraction faite des frais qui ne varient pas avec cette perte anormale de charge; enfin certains économistes veulent voir porter cette perte au crédit du compte de vente du courant. La première manière de voir peut être appliquée dans certains cas, mais elle est d'une exactitude douteuse; la seconde est celle qui est généralement appliquée à la comptabilité des pertes; la dernière sort des règles ordinaires en ce qu'elle balance la perte par un profit apparent qui ne doit pas exister. L'estimation de ces pertes dans l'exploitation est fondamentale, et, comme elles influent sur les dividendes de l'installation, son exactitude a une grande importance sur les résultats commerciaux de celle-ci.

Si ce problème n'est pas susceptible, ainsi que nous l'avons dit, d'être traité dans toute son ampleur en raison des variables qui entrent dans les facteurs de perte, on peut du moins attirer l'attention sur les détails qui méritent sérieuse considération, de manière à réduire les pertes à un minimum dans une installation quelconque.

Les matériaux dont le contrôle ressortit à l'ingénieur électricien, et notamment ceux qui constituent les conducteurs, sont plus souvent employés de confiance que sur épreuves. Le directeur de station qui exigera la vérification de la surface de chauffe de son générateur de vapeur qui ne représente guère qu'un quarantième du capital total immobilisé dans l'installation, négligera souvent l'essai de son cuivre de canalisation qui représente de 30 à 40 p. 100 de l'immobilisation; cependant une erreur dans le choix de la matière conductrice peut sérieusement influer sur les dividendes prévus de l'installation et sur le courant inutilement employé à l'échauffement de la terre et de l'atmosphère ambiante. Il serait désirable et devrait toujours être exigé que là où il y a matière à une grande immobilisation de cuivre, le fabricant soumît à qui de droit un échantillon de dimensions données permettant d'en éprouver la conductibilité, et que, là où il s'agit de conducteurs aériens, ces échantillons fussent également essayés au point de vue de leur résistance à la rupture. Un grand nombre de procédés appliqués à la production du cuivre n'en éliminent pas les impuretés qui affectent sérieusement sa résistivité. Un essai peut seul fixer sur la qualité du métal. Les fabricants d'acier et de fer spécifient la composition et les propriétés physiques de leurs produits; pourquoi les fournisseurs de cuivre ne seraient-ils pas mis en demeure de remplir certaines conditions électriques qui ont une si grande importance au point de vue commercial dans le succès d'une exploitation?

Un isolement exagéré des câbles à basses tensions de fortes dimensions est parfois matière à une grande élévation de prix. Mais les isolants électriques sont également des isolants calorifiques. Si la protection électrique du fil est trop forte, elle concentre la chaleur dans le conducteur et augmente la perte dont il est le siège; la dispersion de cette chaleur par rayonnement ou par convection dans l'air, réaliserait souvent une économie appréciable, d'autant plus que, par nature, cette perte est malheureusement cumulative.

La conductibilité des alliages ou compositions n'est pas facile à ramener à une formule simple. La règle générale que leur conductibilité est inférieure à la moyenne de celles des métaux constitutifs donne une idée suffisante de ce qu'on peut espérer d'une composition connue. Le laiton à haut titre, celui à bas titre, le cuivre, et ce qu'on appelle le cuivre fondu présentent des conductibilités variables sur toute l'échelle, de 18 à 89 p. 100 de celle du cuivre pur. Le zinc et le plomb sont les deux pires éléments qui puissent entrer dans la composition du laiton au point de vue de sa conductibilité; ils lui sont à cet égard plus préjudiciables que l'étain. Le métal peut en

Digitized by Google

outre être brûlé, ou bien le creuset peut admettre du vieux laiton de composition inconnue; ce sont autant d'éléments défavorables à la conductibilité du produit final. Les bronzes spéciaux, tels que le bronze phosphoreux, le bronze silicieux, sont recherchés pour leurs qualités mécaniques plutôt que pour leurs propriétés électriques.

Le produit de la tension en un point de connexion par l'intensité du courant qui y passe donne la puissance en ce point pour la densité du courant correspondante; mais là où il existe une surface de contact, la chute de potentiel ne suit pas aussi rapidement l'augmentation d'intensité. L'hypothèse de la proportionnalité entre ces deux facteurs conduit à de très graves erreurs. On a dans le cas de contact un coefficient négatif de température qui peut s'expliquer de la manière suivante : plus les contacts se dilatent, plus ils tendent à présenter plus de surface de contact, et ils sont sous le contact à une pression plus élevée que sous les conditions normales. Cet effet d'augmentation de rendement d'un joint à de hautes températures se manifeste très nettement quand les parties en contact sont maintenues par un boulon d'acier. Le laiton et le cuivre se dilatent plus vite que le boulon, et dans ces conditions, la pression de contact peut augmenter énormément et réduire la perte au joint. La conductibilité du boulon d'acier n'a pas autant d'importance que cette augmentation de pression par inégale dilatation des différentes parties du conducteur. La spécification d'un système quelconque de conducteurs, ou d'appareils d'utilisation doit comporter l'expression des pertes à pleine charge, en chute de potentiel. Comme critérium grossier des pertes dans les différentes parties du système, l'élévation de température est la première à noter. Cette évaluation est sommaire ; mais elle fournit néanmoins une évaluation rapide des pertes dans le conducteur. Il y a cependant une condition dans laquelle l'élévation de température n'indique pas la perte véritable, c'est celle d'une surface soumise à un rayonnement tel que l'énergie calorifique disparaisse par ce phénomène, la température restant normale en présence d'une perte anormale.

En ce qui concerne la disposition des conducteurs, on devra tirer tout le parti possible des méthodes de mesures indirectes d'après les chutes de potentiel sur des dérivations artificielles de courant. Les dispositifs de liaisons, faisant fonctionner des commutateurs à distance par des moyens mécaniques dans le but de contrôler les différents circuits, feront ressortir une grande économie comparativement au contrôle opéré par retour du courant pris au point de fonctionnement. En fait, il ne serait pas surprenant de voir à bref délai le tableau de commutation des stations marchant à basse tension munis de dispositifs actionnant des commutateurs à distance de telle sorte qu'on n'eût à faire revenir au tableau qu'une faible fraction de la puissance totale dans la station pour les ampèremètres, les voltmètres et les courants d'excitation. On réalisera dans l'avenir des économies dans l'exploitation des stations centrales par une surveillance plus rigoureuse, maintenant les pertes d'énergie au point le plus bas possible, de manière à obtenir le maximum de fourniture au compteur de l'abonné pour une consommation de combustible, de frais généraux, une perte et une dépréciation donnés.

Certaines canalisations paraissent déjà promettre d'excellents résultats au point de vue d'une meilleure économie de distribution et de fonctionnement, et dans les installations de l'avenir on arrivera, par une plus grande attention donnée aux détails de transmission du produit obtenu, à une différence moindre que celles actuellement existantes entre les lectures des appareils donnant la puissance totale développée à la station et la somme de celles fournies aux consommateurs. E. B.

La première transmission par courants triphasés au Canada (1).

Une transmission par courants triphasés.

(1) *The Electrical Engincer*, 24 avril 1895. p. 363.

Digitized by Google

la première de ce genre, au Canada, vient d'être établie à Saint-Hyacinthe, dans la province de Québec. La chute d'eau utilisée est à Rapid Plat, à 7 200 m. environ de la ville; elle était primitivement employée pour actionner un moulin à blé; le bief d'amont et le bief d'aval ont été modifiés, de façon à porter la hauteur utile à 5,20 m. environ; l'eau est dirigée sur 4 turbines du type Sampson, de la Leffel C°; ces turbines ont 1,25 m. de diamètre et tournent à la vitesse angulaire de 100 tours par minute; elles sont montées sur des arbres verticaux et sont indépendantes les unes des autres. Elles commandent, par un renvoi d'engrenages, un arbre horizontal qui est divisé en deux sections reliées par un embrayage de Hill ; deux turbines sont reliées à chaque section. Les quatre poulies d'entraînement des dynamos sont munies d'embrayages semblables et montées sur une extension de cet arbre, sous la salle des dynamos.

Trois alternateurs seulement sont actuellement installés; ils sont du type de la Canadian general Electric C°, triphasés, de 150 kilowatts à 2 500 volts; ils sont à enroulement compound. Le courant d'excitation séparé est fourni par deux dynamos Edison de 6 kilowatts; chacune d'elles est capable d'exciter les électros des trois alternateurs. Ceux-ci donnent 60 périodes par seconde. Cette fréquence a été choisie de préférence à celle de 125 qui avait été jusqu'ici adoptée parce que les moteurs fonctionnent d'autant mieux que la fréquence est plus basse ; d'un autre côté, on craignait, avec de plus faibles fréquences, que l'éclairage fût instable. Le courant de ces machines est conduit au panneau central du tableau de distribution où il est relié aux barres omnibus principales, en dérivation, par trois interrupteurs à trois pôles. Sur ce panneau sont encore placés un indicateur de potentiel et de courant pour chaque machine et les indicateurs de phase qui facilitent le groupement des machines. Le panneau des feeders est sur la droite, il est muni de trois indicateurs de courant, un pour chaque bras du système, d'un indicateur de terre, de parafoudres. Sur la gauche sont branchés les trois transformateurs de la station, ainsi que les appareils de mesure et de commande du courant d'excitation.

La ligne de transmission se compose de quatre fils 00 B. S (0,965 cm. de diamètre) placés sur des isolateurs à double cuvette. Ceux-ci sont placés sur deux bras transversaux fixés sur des poteaux. Trois seulement des fils sont normalement en service. Le quatrième sert de réserve, en cas d'accident.

Le courant ne subit aucune transformation au sortir des machines, avant d'arriver au point d'utilisation. La plus grande partie de l'éclairage est assurée par un système de canalisation à 4 fils, alimenté par des transformateurs convenablement distribués sur l'ensemble du réseau. Ce système combine l'économie des systèmes triphasés et à trois fils, et assure l'uniformité de potentiel en tous les points. Tous les grands moteurs seront reliés à des transformateurs spéciaux ; seuls les petits moteurs seront branchés sur le circuit d'éclairage.

G. P.

Traction électrique à double trôlet, par Ph. Dawson (1)

Le système à double trôlet, un pour la prise de courant, l'autre pour le retour, a été adopté à Cincinnati. La Compagnie des Téléphones était si puissante lorsque la Compagnie de Tramways demanda sa concession, que cette dernière Compagnie fut obligée d'adopter ce système pour éviter autant que possible toute interférence avec l'exploitation téléphonique. Les principales difficultés qu'on eut à surmonter résidaient dans les croisements et aiguillages, où il fallait éviter des courts circuits au croisement des fils positifs et négatifs. Ces difficultés ont été surmontées au moyen des dispositions que représentent les figures 1 à 6. Aux évitements, une seconde série de fils a été établie pour une autre voie

(1) *Engineering*, 19 avril 1895, p. 505.

Digitized by Google

et les conducteurs, en pénétrant sur une des courbes, doivent transférer les bras du trôlet à une paire de fils différents. Les voitures passent les points morts par la vitesse

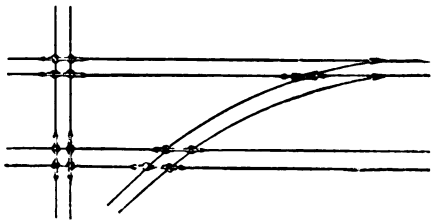


Fig. 1.

acquise ; le courant passe d'une partie de la ligne à l'autre, dans ces points, au moyen de câbles isolés qui sont établis au-dessus des plaques d'aiguillage. Ce système donne pleine

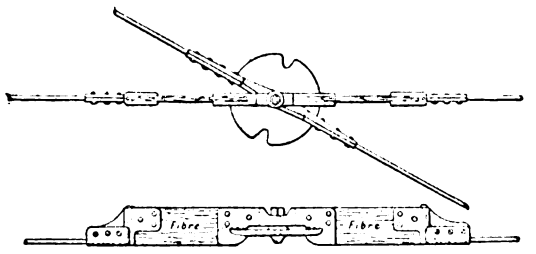


Fig. 2 et 3.

satisfaction, mais il nécessite une augmentation énorme, très préjudiciable, du nombre de fils aériens. Il semble aussi impossible d'isoler suffisamment la ligne. Si un des trôlets est

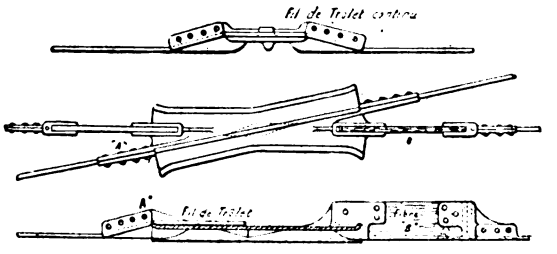


Fig. 4, 5 et 6.

retiré de la ligne et mis en contact avec les rails, il passe un courant suffisant pour allumer les lampes de la voiture, mais trop faible pour entraîner la voiture.

G. P.

Régulateur électrique de la vitesse des turbines, par E. Egger.

Les turbines actionnant des génératrices de transport de force motrice présentent un inconvénient assez sérieux dû à leurs variations de vitesse. Quand les machines réceptrices fonctionnent d'une façon irrégulière, le régulateur de la turbine n'est en général pas capable d'agir assez rapidement pour éviter que les changements brusques dans l'intensité du courant ne réagissent sur la vitesse de la turbine.

La maison Egger, de Vienne, avait récemment à s'occuper de cette question dans une de

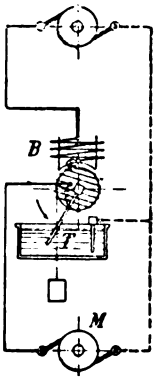


Fig. 1.

ses installations en Autriche. Les moteurs avaient une marche très intermittente, et chaque fois que l'un deux était arrêté, la génératrice se trouvant tout à coup déchargée dans une certaine mesure, la turbine s'emballait parce que l'action de son régulateur était trop lente.

La solution adoptée pour remédier à cet inconvénient consiste à faire agir le courant principal sur un ampèremètre, dont la partie mobile actionne un rhéostat destiné à absorber les différences de charge. En l'espèce, l'ampèremètre est construit (fig. 1) (1) sous forme d'une petite machine dynamo dont l'inducteur est traversé par le courant principal. L'induit porte un enroulement fermé sur lui-même et sans collecteur. Sous l'action d'un courant

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 25 avril 1895.

Digitized by Google

inducteur d'intensité donnée, l'induit tourne d'un certain angle réglé par un contrepoids.

Cet induit porte, fixées sur l'extrémité de son arbre, une série de tiges métalliques T plongeant dans un bain de soude et formant une électrode d'un rhéostat à liquide dont l'autre électrode est fixe. Ce rhéostat est placé en dérivation sur le circuit principal.

Le courant fourni par la génératrice se compose donc du courant d'alimentation du moteur M et de celui qu'absorbe le rhéostat. Lorsque le moteur vient d'être brusquement déchargé, le courant total tend à baisser ; par ce fait et sous l'action du contrepoids l'induit du régulateur tourne dans le sens indiqué par la flèche ; l'électrode mobile s'approche de l'électrode fixe, et le rhéostat, diminuant de résistance, vient remplacer vis-à-vis de la génératrice la charge qu'absorbait le moteur. Ces actions sont naturellement presque instantanées ; et, de fait, elles permettent d'éviter à la turbine des variations de vitesse supérieures à 2 p. 100.

A. H.

Mode de montage particulier d'une transmission de force motrice, par E. Hœgerstaedt.

L'auteur avait à établir un projet de transmission de force dans des conditions qui ne permettaient pas l'application des méthodes usuelles.

Un fabricant possédant à 2,5 km. de son usine une force hydraulique pouvant fournir 60 chevaux, désirait utiliser cette puissance de telle manière que 14 chevaux fussent consacrés à l'éclairage, 20 chevaux à un moteur, 6 chevaux à un autre moteur, et que 11 chevaux pussent être réservés pour des applications futures. En tout, il fallait donc amener à l'usine 51 chevaux.

Comme conditions impossibles à modifier, il était stipulé que le moteur de 6 chevaux devait avoir une vitesse absolument constante et ne pas présenter de variations de puissance, que le plus grand moteur serait arrêté et mis en marche brusquement plusieurs fois par jour, que les lampes à incandescence devaient donner une lumière invariable et que 30 de ces lampes pouvaient être éteintes sans toucher aux autres. En même temps, les frais d'installation devaient naturellement être réduits au minimum.

Si l'on cherche à résoudre ce problème par les procédés habituels, on arrive toujours, soit à un rendement trop faible, soit à un prix d'installation trop élevé.

L'auteur a eu recours au montage décrit

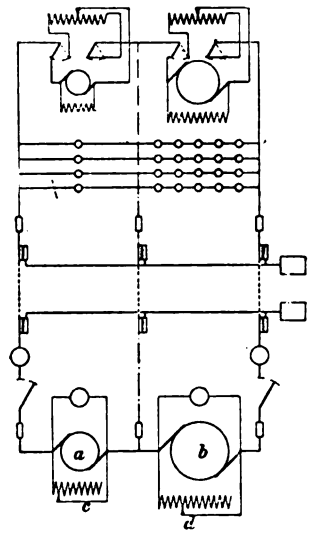


Fig. 1.

ci-dessous qui, tout en étant simple, réalise les conditions posées.

L'arbre de la turbine actionne par courroies deux dynamos à courant continu *a* et *b* (fig. 1) de puissances différentes montées sur trois fils de transmission.

Les deux machines sont shunt et ont des rhéostats d'excitation *c* et *d;* la plus grande génératrice fournit 32 182 watts, soit 61,3 ampères à 525 volts, la plus petite 9635 watts ou 61,3 ampères à 157,5 volts. Le rendement des deux machines est de 92 p. 100.

La ligne est calculée pour une chute de potentiel de 5 p. 100, lorsque les deux fils extérieurs sont parcourus par le courant total de 61,3 ampères ; chacun de ceux-ci présente donc une section de 165 mm², tandis que le fil du milieu a une section de 30 mm².

Digitized by Google

A l'usine, les 184 lampes à incandescence demandées sont montées comme l'indique la figure 1, par groupes de 6 en tension; 5 lampes de 100 volts sont montées sur le circuit de la plus grande génératrice et la sixième de 150 volts est à cheval sur l'autre circuit. On a ainsi 186 lampes dont 31 peuvent être intercalées séparément. C'est pour ces 31 lampes que le fil du milieu doit avoir la section indiquée plus haut.

Quant aux deux moteurs, ils ont été placés d'une façon analogue sur les deux ponts.

Le moteur de 6 chevaux, avec une perte de

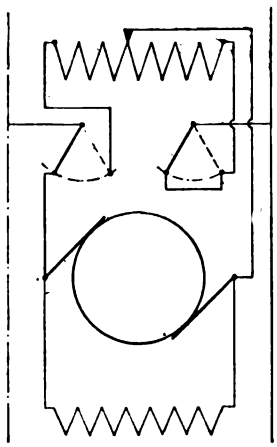


Fig. 2.

14 p. 100, absorbe 5 034 watts, celui de 20 chevaux, avec 10 p. 100 de perte absorbe 16 192 watts; l'intensité du courant est de 32,7 ampères, la différence de potentiel entre les fils extérieurs étant de 650 volts.

Par cette disposition, on évite que les variations de l'un des moteurs puissent affecter le fonctionnement de l'autre. Un autre avantage encore réside dans ce fait que le petit moteur peut être construit pour 150 volts seulement, alors que le grand moteur prend 500 volts.

Mais il faut encore pouvoir arrêter chacun des moteurs, sans inconvénient pour l'autre, c'est ce qu'on peut réaliser avec la disposition indiquée figure 2.

Un commutateur bipolaire relie dans une des positions le moteur avec un fil extérieur et le fil du milieu; dans la seconde position, il remplace le moteur par une résistance pouvant absorber le courant normal.

Malgré la section un peu forte de la ligne, les frais d'installation sont aussi moindres qu'avec tout autre système donnant un rendement du même ordre. Ce rendement résulte du calcul suivant :

Puissance absorbée	Watts
Lampes 14 chevaux + 2 p. 100 de perte en ligne.	10 510
Réserve de 11 chevaux.	8 096
Moteur de 6 »	5 034
Moteur de 20 »	16 192
	39 832
Perte en ligne, 5 p. 100	1 992
	41 824
Perte dans les génératrices, 8 p. 100 . . .	3 346
Total. . .	45 170

Ce qui correspond à un rendement de 83,1 p. 100.

A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Société internationale des électriciens.

Séance du 5 juin 1895.

M. P. Janet expose les recherches de MM. *Gin* et *Leleux*, sur l'électrolyse des jus sucrés. Les expériences, qui ont été exécutées au Laboratoire de la Société, ont déjà été décrites dans le journal (1); il nous suffira d'en rappeler les points principaux.

La force électromotrice E nécessaire à l'électrolyse dépend de la f. é. m. de polarisation e et de la résistance ohmique, Σr. La f. é. m. de polarisation e a varié dans les expériences des auteurs entre 0,6 et 2,2 volts.

La résistance spécifique ρ des solutions dépend de leur concentration, de la tempéra-

(1) Gin et Leleux. *L'Ecl. Elect.*, 11 mai 1895, p. 278.

Digitized by Google

ture, de la densité du courant et du temps.

1° La température restant constante à 15° C., et la densité du courant à 1 ampère par décimètre carré, la résistance spécifique ρ peut être représentée, dans les limites des expériences, par la formule

$$\rho = 52\,100 - 3\,040x + 18\,980\,x^2$$

qui peut s'écrire, en nombres ronds

$$\rho = 52\,000 + 18080\,(x - 0{,}08)^2$$

x étant la concentration en grammes-molécules par litre. ρ passe donc par un minimum pour $x = 0{,}08$. Elle croît ensuite lorsque la concentration augmente ou diminue ; les auteurs n'ont expérimenté que pour des valeurs de x supérieures à $\frac{1}{10}$ de molécule, soit 3,42 gr. par litre.

2° La résistance spécifique ρ décroît quand la température s'élève. La courbe représentative de la variation est différente pour des solutions de concentrations différentes. Cependant, toutes ces courbes tendent à une température voisine de 100° C., vers une asymptote commune.

3° Pour des densités de courant variant entre 0,0001 et 0,01 ampère par cm², la résistance ρ est représentée par la formule

$$\rho = \alpha - \beta\left(1 + \frac{x}{1}\right)^x;$$

β n'est sensible que pour les solutions peu conductrices.

4° La résistance initiale varie avec le temps ; elle augmente d'abord, puis tend à devenir stationnaire.

Les auteurs ont cherché également à déterminer s'il y avait migration de la saccharose. La cuve électrolytique était partagée en deux compartiments ; après le passage du courant, on prélevait des échantillons de liquide dans le compartiment positif et dans le compartiment négatif et, pour déterminer leur concentration, on mesurait leur résistance. La concentration dans le compartiment positif a toujours été plus élevée que dans le compartiment négatif ; la courbe représentative, dans ce dernier cas, est régulière, tandis qu'elle est assez irrégulière dans le premier ; toutefois, en raison des perturbations causées par l'évaporation et le transport de l'eau dans le compartiment négatif, on ne peut tirer aucune conclusion certaine de ces faits ; les auteurs inclinent à penser qu'il n'y a pas de transport de saccharose.

M. Potier fait observer, à la suite de cette communication, que plusieurs physiciens ont fait antérieurement des expériences analogues sur diverses solutions ; de ces recherches il résulte que la variation de résistance avec le temps, est causée par les modifications profondes que l'électrolyse apporte dans la composition chimique des différentes parties du liquide ; toutefois, la diffusion tend à détruire ces différences de composition et, au bout d'un temps, il s'établit un régime normal.

M. Grosselin développe ensuite quelques considérations intéressantes sur les canalisations concentriques.

Il existe deux méthodes principales d'exploitation, à savoir : la méthode anglaise qui consiste à mettre à la terre sur toute sa longueur le câble extérieur, et la méthode européenne qui consiste à isoler avec grand soin les deux conducteurs tant extérieur qu'intérieur. Dans ces derniers câbles, les cahiers de charges exigent d'ordinaire que la résistance de l'isolant qui sépare les deux conducteurs soit environ double de celle de l'isolant extérieur. Cette condition résulte de la supposition faite de la répartition égale des potentiels. Il convient d'examiner si cet isolement de l'extérieur est suffisant pour assurer une bonne exploitation ou bien s'il est, au contraire, inutile et par conséquent trop coûteux.

Un câble concentrique formé de trois couches métalliques séparés par deux couches isolantes forme, en réalité deux condensateurs reliés en série et, d'après la loi connue, la répartition des potentiels devrait s'y faire en raison inverse des capacités, de façon à satisfaire à la relation

$$CV = C'V'.$$

Digitized by Google

Or, des essais ont été faits à Zurich et au secteur des Champs-Élysées à Paris. Dans l'un et l'autre cas, le rapport des capacités était à peu près égal à 4 ; la tension est de 1 800 volts à Zurich et de 3000 à Paris ; on devait donc avoir environ 450 volts ou 750 volts sur le conducteur extérieur. En réalité la différence de potentiel de ce conducteur avec la terre a été trouvée tellement faible que, pour la constater on a dû recourir à un téléphone. La loi d'inverse proportionnalité n'est donc pas applicable ici. L'effet d'écran produit par le conducteur extérieur permet d'expliquer ces résultats. En service normal, il serait donc suffisant d'isoler le câble extérieurement, comme une canalisation ordinaire à 100 volts.

Malheureusement, le service normal n'est pas le seul qu'on doive envisager, et l'expérience a démontré que l'isolant extérieur de câbles concentriques pouvait être percé bien qu'il eût été essayé à la tension maxima et qu'aucune modification n'ait été apportée.

M. Neustadt remarqua que « la destruction de la couche isolante n'avait lieu que lorsque le conducteur intérieur était le premier mis en circuit ou lorsque le conducteur extérieur était le premier coupé du circuit et lorsque la section du câble était reliée à des transformateurs dont les circuits secondaires étaient ouverts ou très peu chargés (1). » Il estimait à plus de 5 300 volts la tension momentanément atteinte dans ces conditions, ce qui explique les effets destructeurs observés ; le conducteur intérieur ne doit donc jamais rester seul en circuit. A la suite de ces constatations on résolut, à Vienne, de placer des parafoudres entre le câble extérieur et la terre.

Sur le secteur des Champs-Élysées, les ingénieurs instituèrent une série d'expériences dans le détail desquelles nous ne pouvons entrer aujourd'hui et qui conduisirent à des conclusions analogues ; les boîtes de coupure furent revêtues d'isolants et on plaça des parafoudres fonctionnant à 4 000 volts, munis de plombs fusibles à raison de 2 par section de ligne. Les ruptures d'isolant ne se produisirent plus.

Dans tous les cas, où des défauts sont constatés l'induction sur les câbles téléphoniques du voisinage est tellement forte que toute conversation devient très difficile, sinon impossible. A Zurich, on constata un fait analogue par suite de l'interversion qui avait été établie par inadvertance entre les conducteurs extérieurs et intérieurs. Lorsque les communications furent rétablies dans l'ordre voulu, l'induction cessa.

On voit que les câbles concentriques ne sont pas des palliatifs absolus ; il faut par-dessus tout empêcher le potentiel de s'élever sur le conducteur extérieur. Le conducteur central ne doit jamais être relié seul à la génératrice ; il ne doit donc pas y avoir de plomb fusible sur l'extérieur ; enfin, on doit veiller à ce que le conducteur central ne soit jamais relié à la terre. Au point de vue économique, on pourrait alors sans danger diminuer la résistance l'isolant extérieur en intercalant des parafoudres comme il a été dit. Il serait difficile d'adopter la méthode anglaise, en raison de la difficulté qu'on aurait alors à isoler le conducteur central aux coupe-circuits, boîtes de fonction, etc. ; mais il semble qu'on pourrait sans danger mettre le conducteur extérieur à la terre en un point.

G. P.

(1) L. Neustadt. *La Lum. Elect.* 22 avril 1893, p. 119.

Sur un thermomètre à zéro invariable, par L. Marchis (1).

A plusieurs reprises nos lecteurs ont été tenus au courant des recherches faites pour la mesure précise des températures (2). Nous croyons donc utile de signaler le procédé imaginé par M. Marchis pour supprimer les variations du zéro du thermomètre à mercure, procédé qui consiste à remplacer le réservoir de verre de cet instrument par un réservoir de platine.

(1) *Journal de physique*, 3e série, t. IV, p. 217-219 ; mai 1895.

(2) *La Lumière Electrique*, t. XXVIII, p. 201 et t. XLVII, p. 21.

Digitized by Google

Le thermomètre à zéro invariable, construit par M. Hémot, constructeur à Paris, se compose :

1° D'une tige en verre vert recuit Guilbert-Martin ;

2° D'un réservoir de platine ayant la forme ordinaire des réservoirs de thermomètre et soudé directement sur la tige de verre. Ce réservoir, dû à M. Golaz, est fait sans soudure, ce qui a permis d'avoir une grande propreté intérieure et une absence complète de poussières ; de cette façon le thermomètre a pu être obtenu aussi bien fini que s'il était en verre. Pour empêcher le réservoir de se décentrer et le protéger contre les chocs, on l'entoure par un double anneau de verre formant la croix au-dessous ; enfin cet anneau en verre est recouvert de toile de platine. Le thermomètre peut alors prendre la température du milieu dans lequel il est plongé, tout en ayant une fragilité assez faible.

Le remplissage de l'instrument présentait nne difficulté tenant à ce qu'on ne pouvait faire bouillir le mercure dans le réservoir, celui-ci étant attaquable dans ces conditions. On l'a tournée en faisant bouillir le mercure dans l'ampoule, l'instrument étant placé horizontalement et le vide étant fait à l'intérieur au moyen d'une trompe ; quand l'air était bien expulsé on laissait l'appareil se refroidir jusqu'à 150 degrés et on les redressait verticalement.

L'auteur a fait de nombreuses expériences dans le but de vérifier l'invariabilité du zéro. L'instrument étant primitivement placé dans la glace fondante on notait la position du ménisque mercuriel (0° de la division pour un des thermomètres et 0°,064 pour un autre), puis on le portait rapidement à diverses températures comprises entre 0 et 100 degrés, on le remettait dans la glace fondante de manière à réaliser un cycle fermé de températures et enfin on notait la nouvelle position du ménisque. Le tableau suivant indique les positions observées pour quelques cycles de températures.

Cycle de température.	Durée de l'expérience (en minutes).	Thermomètre 25912	Thermomètre 2911
5°, 10°, 70°, 15°, 70° Glace, .	3	0°	+ 0°,064
2°, 50°, 75°, Eau bouillante, Glace.	2	0	+ 0,065
3°, Eau bouillante, Glace, Eau bouillante, Glace, 70° Glace.	5	0	+ 0,064
10°, Glace, Eau bouillante, Glace, 50°, 70°, Eau bouillante, Glace.	6	0	+ 0,065

Ainsi, avec l'un des thermomètres l'auteur n'a jamais pu déceler la moindre distance entre le sommet du mercure et le trait zéro marqué par le constructeur ; avec l'autre thermomètre il a trouvé le zéro à + 0°,064, et cela à 1/1000 de degré près.

J. B.

Sur la théorie électrochimique de Helmholtz et sur quelques conclusions qui s'en déduisent, par F. Richarz (1).

« Dans sa note sur l'électron ou atome d'électricité (2), le professeur G. Johnstone Stoney appelle l'attention sur ce que, au meeting de Belfast de l'Association Britannique, en août 1874, il déduisait de la loi de Faraday la conclusion suivante : « Quand, dans un électrolyte, une molécule chimique est rompue une certaine quantité d'électricité traverse l'électrolyte et cette quantité est la même dans tous les cas ». C'est cette quantité, la plus petite que l'on puisse considérer, que le professeur G. J. Stoney appelle l' « électron » ; il estime sa valeur à 3×10^{-11} unité électrique.

« A ce point de vue le professeur Stoney devança par conséquent Helmholtz qui ne fit connaître ses idées sur ce sujet qu'en avril 1881, dans sa « Faraday Lecture ». Mais dans ce discours Helmholtz énonçait en outre cette hypothèse que « dans les substances non électrolytiques aussi les valences sont chargées avec les mêmes atomes d'électricité ». D'ailleurs Helmholtz expliquait cette hypothèse, en admettant que l'attraction entre les élec-

(1) *Philosophical Magazine* t. XXXIX, p. 529, juin 1895.

(2) G. J. Stoney. *Phil. Mag.*, t. XXXVIII, p. 418 ; *Ecl. Elec.*, t. I, p. 517 ; 1894.

Digitized by Google

trons constitue la partie la plus essentielle et la plus importante des forces d'affinité chimique. La vieille théorie électrochimique de Berzélius prenait ainsi une forme toute nouvelle et méritait par suite d'être appelée théorie électrochimique de Helmholtz.

« Sans connaître les calculs du professeur Stoney relatifs à l'électron, j'ai moi-même, dans une note « sur la force électrique des atomes » lue le 1er décembre 1890 et le 12 janvier 1891 devant la Société néerlandaise des sciences naturelles (1) calculé la valeur de l'électron et me suis d'abord attaché à des calculs faits en vue de déterminer si « les forces agissant entre les atomes d'une molécule sont du même ordre de grandeur que les attractions électrostatiques entre les charges de valence ». J'avais déjà prouvé qu'il en était ainsi relativement à la dissociation par la chaleur de Az^2O^4 en 2 AzO^2 et de I^2 en 2I.

« J'ai en outre supposé que les atomes d'une molécule tournent, l'un autour de l'autre, avec une vitesse constante qui est donnée par la théorie cinétique des gaz polyatomiques de Boltzmann. En écrivant que la force centrifuge est égale à la force d'attraction, j'ai trouvé pour cette dernière une valeur sensiblement égale à la force attractive qu'exercent l'un sur l'autre deux électrons. De plus j'avançai en même temps cette hypothèse que la radiation a pour causes les oscillations des charges de valence. Cette hypothèse n'était pas nouvelle car, comme je l'ai appris depuis, dès 1878 le professeur H. A. Lorenz attribuait les ondes lumineuses aux particules électriques qui sont jointes aux atomes et qui sont aussi considérées dans les phénomènes électrolytiques (*Verh. d. kgl. Akad. v. Wetenschappen*, 18 Deel, Amsterdam, 1879 ; particulièrement la conclusion, page 112) et le professeur Hertz partageait, comme il me l'a dit, cette opinion bien qu'il ne fût pas partisan de la théorie électrochimique de Helmholtz, lui préférant les idées de Victor Meyer et Riecke (*Berliner Chem. Ber.* t. XXI, p. 946, 1888).

« Mais la théorie électromagnétique de la réfraction de Lorentz ne suppose, comme d'ailleurs la théorie de la dispersion de Helmholtz, absolument rien sur la grandeur des charges de valence. A propos de cette grandeur, c'est-à-dire de l'électron, j'ai, dans la note du 12 janvier mentionnée plus haut, montré que la période de rotation des deux atomes d'une molécule, autour l'une de l'autre était d'environ 10^{-14} seconde. C'est également la période de la radiation électrodynamique à laquelle donnent lieu les électrons des deux atomes quand ils tournent autour l'un de l'autre en même temps que les atomes pondérables qui les supportent ; elle correspondrait à des ondes infra-rouges. Comme cette valeur est la moyenne des différentes périodes de rotation que possèdent à un même instant diverses molécules, l'émission de ces ondes peut donner lieu à un spectre plus ou moins étendu de rayons calorifiques obscurs, lequel spectre aurait une intensité maxima dans la région correspondant à la valeur moyenne de la rotation. Par conséquent il y a similitude avec l'émission des gaz, tant que cette dernière est considérée comme résultant d'une élévation de la température. Si la période de rotation diminue, le spectre peut parfaitement s'étendre dans la région visible.

« Le professeur G.-J. Stoney examinait dans la radiation électrodynamique provenant d'électrons oscillants à peu près en même temps que je le faisais moi-même dans des conditions différentes (*Trans. Roy. Dublin Soc.*, t. IV, p. 585, 1891) ; un peu plus tard le professeur Ebert s'occupait aussi de la même question (*Arch. de Genève*, 3e série, t. XXV, p. 489, mai 1891).

« J'ai développé récemment la partie purement cinétique de mes conclusions (*Wied. Ann.* t. XLVIII, pp. 467-492, mars 1893). Dans ce mémoire j'ai pris en considération la chaleur de dissociation de l'hydrogène donnée par E. Wiedemann ; j'en ai également fait usage, en plus des chaleurs de dissociation du peroxyde d'azote et de l'iode déjà considérées

(1) F. Richarz. *Sitzungsberichte*, Bonn. t. XLVII, p. 113 (1890) ; t. XLVIII, p. 18 (1891).

Digitized by Google

dans ma note du 12 janvier 1891, dans l'exposé complet de mes calculs électriques (*Münchener Akademie*, t. XXIV, p. 1, 13 janvier, 1894 et *Wied. Ann.*, t. LII, p. 385, 1894).

« J'ai également montré dans ce dernier mémoire que, si l'on admet que le magnétisme moléculaire est produit par la rotation des charges de valence, on obtient pour le magnétisme spécifique au point de saturation des valeurs qui sont de l'ordre de grandeur de celles que l'on trouve expérimentalement.

« La théorie électrochimique de Helmholtz a été aussi confirmée, sous d'autres points de vue, par les très intéressants travaux du professeur A.-P. Chattock (*Phil. Mag.* 5e série, t. XXXII, p. 285, 1891; t. XXXIV, p. 461, 1892; t. XXXV, p. 76, 1893, — *Lum. Elect.* t. XLVII, p. 244 et p. 284; 1893) ».

Formation de la cuprite dans l'électrolyse du sulfate de cuivre par Majorana (1).

La densité du courant employé dans l'électrolyse du sulfate de cuivre exerce une influence bien connue sur la nature du dépôt; quand cette densité est faible, il se produit des réactions secondaires qui donnent comme produit final du cuivre combiné. Dans certaines conditions, on voit qu'il se dépose sur la lame négative du voltamètre de la cuprite Cu^2O; le dépôt, observé au microscope se présente comme constitué par de très petits cristaux rouge-brun.

M. Brown (1) a observé des cristaux de cuprite de dimensions considérables qui s'étaient formés sur le cuivre de certaines piles de Callaud abandonnées à elles-mêmes pendant deux ou trois mois; il attribue le fait à une électrolyse lente.

Plus tard, M. Chassy a obtenu le même dépôt à chaud; il n'a pu l'obtenir à froid; ceci semble tenir à la densité du courant employée; l'auteur a obtenu de la cuprite à toute température avec des densités très inférieures à 0,01 ampère par centimètre carré. La formation de ce corps n'est pas due à l'oxygène dissous dans la solution, puisqu'elle a lieu dans un liquide récemment bouilli.

L'auteur a opéré sur du sulfate de cuivre du commerce qu'il avait fait recristalliser trois fois. Deux voltamètres en série renferment, l'un du sulfate de cuivre en solution acide avec des électrodes en fil de platine, l'autre une solution saturée de sel pur, avec des électrodes de 12 cm.² de surface chacune, contenues dans 350 cm.³ de liquide. Dans ce second voltamètre, on obtient d'abord de la cuprite, ensuite du cuivre, quand il s'est formé une certaine quantité d'acide libre; les résultats sont contenus dans le tableau suivant.

L'intensité et la densité du courant se déduisent du poids de cuivre déposé dans le voltamètre à acide. La quantité d'acide mise en liberté dans le voltamètre se déduit du poids de cuprite; à une molécule de l'oxyde correspondent deux molécules d'acide.

SOLUTION ACIDE poids du cuivre (mg)	SOLUTION PURE poids de la cuprite (mg)	TEMPS AU BOUT DUQUEL commence à se former le cuivre	MILLIAMPÈRES par centimètre carré	ACIDE SULFURIQUE contenu dans la dissolution (mg)	RAPPORT entre le poids du liquide et celui de SO^4H^2
920	978	179 heures 30 minutes	0,181	1340	0,004
511	547	47 — 15 —	0,382	749	0,0021
60	65	4 — 15 —	0,512	89	0,0002
30	38	1 — 10 —	0,923	52	0,0001

Le dépôt de cuprite est constitué par des cristaux dont les dimensions moyennes vont en croissant, de $\frac{1}{90}$ mm. pour une densité de courant de 0,001 ampère par centimètre carré à $\frac{1}{20}$ mm. pour une densité de 0,00018 ampère.

(1) *Atti della Real. Accad. dei Lincei*, t. IV, p. 371, 1895.

(1) *American Journal of Science*, V, 32, p. 377-80.

Digitized by Google

Cet accroissement est d'accord avec le fait observé par M. Brown. Quant au cuivre, on a pu obtenir des cristaux de $\frac{1}{15}$ mm. ayant nettement la forme octaédrique, avec la densité de courant la plus faible; le dépôt commençait au moment où le liquide contenait 0,004 d'acide sulfurique.

A température élevée (74°) on peut obtenir de la cuprite avec des courants beaucoup plus denses (0,01 ampère).

Si l'on compare le poids B de cuprite formée dans le voltamètre à solution saturée au poids C qui correspond à la quantité de cuivre formée dans le voltamètre acide, on trouve que le rapport $\frac{B}{C}$, voisin de 0,94 à basse température, va constamment en augmentant. A 74°, il atteint la valeur de 1,27; à 100°, M. Chassy avait trouvé 1,35. Ainsi le même courant dépose à chaud, plus de cuivre oxydé que de cuivre pur à froid. *A priori*, il devrait en déposer deux fois plus; à mesure que la température s'élève, le rapport croît, mais il semble qu'une réaction secondaire ait pour effet de détruire la cuprite, ce qui s'accorde avec le fait que la proportion de cet oxyde est d'autant plus grande qu'il se forme plus rapidement.

La conclusion pratique est qu'on obtiendra du cuivre pur dans l'électrolyse du sulfate, même avec des intensités de courant très faibles, en ajoutant de petites quantités d'acide sulfurique.

C. R.

Les déviations du compas par A. W. Reinold (1).

L'introduction du fer dans les constructions navales a rendu très difficile l'estimation du cap du navire au moyen de la boussole. De nombreux travaux ont été faits par différents savants pour déterminer les *déviations* de la boussole causée par ces pièces de fer; la question est depuis longtemps déjà résolue, et les compas compensés, dont celui de Thompson est le type, sont en usage courant dans la marine. Mais en dehors des spécialistes, peu de personnes connaissent exactement les considérations simples sur lesquelles sont basées les méthodes employées pour la correction de ces déviations; nous profiterons de la publication du mémoire de M. Reinold pour en faire un court exposé.

La déviation de l'aiguille de la boussole ou de la rose magnétique, c'est-à-dire l'écart entre le cap indiqué et le cap réel auquel on doit gouverner pour suivre une route du monde déterminée, dépend d'un grand nombre de conditions telles que : la qualité magnétique des matériaux employés, la latitude du chantier de construction, la position du navire relativement au méridien magnétique pendant la construction, la disposition du fer dans la structure, la position du compas. Elle varie d'amplitude et de direction suivant la valeur de ces différentes variables et suivant aussi la position occupée à la surface du globe par le navire, en cours de navigation.

Antérieurement à 1875, la coque des navires — plaques, nervures, baux —, était construite en fer forgé. Depuis cette époque, l'acier doux ne contenant qu'environ un 1/2 p. 100 de carbone a, en grande partie, remplacé ce métal dans la charpente des navires de guerre et même des navires marchands. Au point de vue magnétique, ces deux substances ne diffèrent pas beaucoup l'une de l'autre; elles s'aimantent facilement dans un champ magnétique et dans les circonstances ordinaires, ne retiennent qu'une faible partie de leur aimantation lorsque l'action inductrice est supprimée.

L'acier fondu employé dans les parties intérieures ainsi que l'acier au nickel et les autres variétés employées pour les plaques de blindage peuvent être rangés dans la catégorie des fers durs; leur susceptibilité magnétique est faible, mais l'aimantation une fois acquise se dissipe très difficilement.

L'acier au manganèse qui présente pourtant des qualités mécaniques remarquables et qui offre l'avantage d'être pratiquement non ma-

(1) *Journal of the Society of Arts*, 3 mai 1895, p. 558.

Digitized by Google

gnétique, n'est pas employé dans les constructions navales, en raison de son extrême dureté.

Les déviations partielles, dont la somme compose à tout moment l'erreur totale, sont dues à deux causes : l'aimantation permanente du fer dur et l'aimantation temporaire du fer sous l'influence de l'induction tellurique ; elles sont de trois ordres différents :

1° *a*) Une *déviation constante* qui conserve toujours la même valeur quels que soient le cap et la position du navire ; elle se réduit, la plupart du temps, à l'erreur d'orientation de la ligne de foi du compas. On peut la négliger d'ordinaire, en raison de sa faible valeur.

2° Une déviation *variable semi-circulaire b*. On sait que, sous l'action tellurique, une barre de fer placée dans certaines orientations s'aimante. L'aimantation varie d'intensité et de signe suivant la position qu'occupe la barre par rapport aux lignes de force du champ terrestre et suivant la latitude du lieu ; elle est maxima lorsque la barre est parallèle aux lignes de force, c'est-à-dire parallèle à l'aiguille d'inclinaison ; elle conserve une valeur presque aussi grande lorsque la barre est verticale ; elle est nulle lorsque cette barre est tenue horizontalement dans une direction perpendiculaire au méridien magnétique du lieu. Dans nos régions l'extrémité inférieure a le même signe que le pôle de la boussole qui se dirige vers le nord (pôle rouge). Dans l'autre hémisphère l'aimantation est inverse. Si le fer soumis à l'induction tellurique est parfaitement doux, l'aimantation est purement temporaire ; si le fer est plus ou moins dur et reste longtemps soumis à l'action du magnétisme terrestre, dans la même orientation, il conserve une partie de son aimantation après que l'action inductrice a cessé ; ce *magnétisme résiduel* est peu stable ; il tend à disparaître avec le temps et sous l'action inductrice variable avec la position occupée par le fer ; enfin, si, pendant que le fer est soumis à l'induction terrestre, il est soumis à une action mécanique, telle que la torsion, l'étirement, le martelage, l'aimantation conserve une très forte valeur après que l'action inductrice a cessé et cette valeur reste constante avec le temps.

Or, pendant la construction, en raison du martelage énergique auquel elles sont soumises, les pièces en fer dur acquièrent une forte aimantation permanente. Un navire forme, en réalité, un gigantesque aimant ; la position du plan neutre dépend de l'orientation du bateau sur le chantier ; ce plan est à peu près perpendiculaire aux lignes de force terrestre ; les figures 1 à 4 montrent quelle est

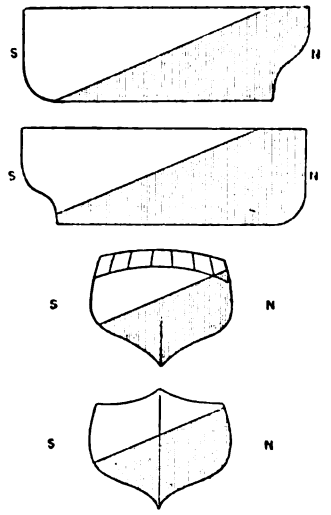


Fig. 1 à 4. — Aimantation permanente d'un navire.

Navires dont l'avant était dirigé, pendant la construction : 1, vers le Sud ; 2, vers le nord ; 3, vers l'Ouest ; 4, vers l'Est.

à peu près la distribution du magnétisme dans des bateaux dont les proues auraient été tournées, pendant la construction, suivant les quatre points cardinaux. Au sortir du chantier, l'aimantation n'est pas stable ; elle tend à diminuer par suite de la dissipation graduelle du magnétisme résiduel ; afin de lui faire prendre plus rapidement sa valeur constante, on a l'habitude de placer le navire, après le lancement, dans le bassin où il doit être fini et équipé, dans une orientation inverse à celle qu'il occupait sur le chantier. Il est évident qu'au cours de navigation, si l'orientation

Digitized by Google

reste longtemps la même, le navire pourra prendre une nouvelle « surcharge d'aimantation » qui tendra à disparaître lorsque cette orientation sera modifiée. On ne peut donc pas dire que l'aimantation permanente soit constante. Cette action du magnétisme résiduel est très difficile à compenser. D'après le capitaine Creak, lorsque la *Lucania* quitta l'Angleterre, ses compas étaient parfaitement réglés; lorsqu'elle atteignit New-York, ils étaient déréglés de 10°; au retour, on constata qu'ils étaient déréglés d'une même valeur, mais en direction opposée.

Le magnétisme permanent de la carcasse

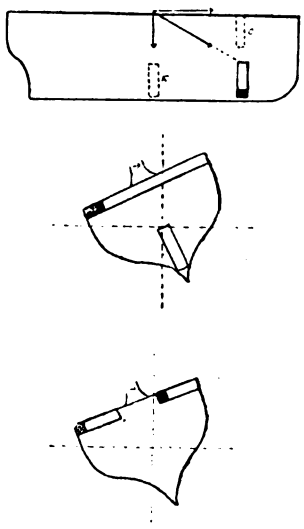


Fig. 5 à 7. — Erreur due au roulis.

5, action des lignes de fer verticales, représentée par deux tiges; 6, poutre continue (erreur côté le plus élevé); 7, masses de fer détachées, par babord et tribord (erreur côté le plus bas).

du navire agit sur le compas ; lorsque le navire accomplit une révolution complète, la déviation produite est orientale pendant la moitié de la rotation et occidentale pendant l'autre moitié. C'est de là que lui vient le nom de semi-circulaire.

c. A cette action du magnétisme permanent vient s'ajouter l'aimantation temporaire de certaines pièces en fer sous l'action de la composante verticale du magnétisme terrestre. Tous les aimants ainsi formés ont la polarité nord (pôle rouge) à leur partie inférieure et la polarité sud (pôle bleu) à leur partie supérieure, si le navire se trouve sous nos latitudes; les polarités sont inverses sous l'autre hémisphère. Leur action s'ajoute donc ou se retranche de celle du magnétisme permanent, suivant les différents points occupés par le navire en cours de navigation. Si, d'ailleurs toutes les pièces de fer ainsi aimantées sont disposées symétriquement par rapport à un plan vertical passant par l'axe longitudinal du navire, leur action totale ou résultante est équivalente à celle d'un aimant unique, placé verticalement dans ce plan. On voit facilement que cet aimant agirait de même que le magnétisme permanent, c'est-à-dire produirait des déviations semi-circulaires. L'action totale est égale à la somme ou à la différence des deux, suivant que l'aimant résultant imaginaire est placé en avant ou en arrière du compas, ce qui dépend de la position de celui-ci par rapport aux masses aimantées.

3° Une *déviation variable quadrantale d.* Cette déviation est due principalement à l'aimantation des pièces de fer par la composante horizontale du magnétisme terrestre. Si la disposition des barres horizontales est symétrique, leur action sur le compas étalon est équivalente à celles de tiges de fer placées, dans le plan du compas, suivant les axes longitudinal et transversal. On voit facilement que ces tiges ne produiront aucune erreur tant que le navire sera N.-S ou E.-O., mais que, dans les positions intermédiaires, le magnétisme induit déviera l'aiguille aimantée ; cette erreur sera orientale quand le cap sera dans le quadrant Nord-Est, ou dans le quadrant opposé, elle sera occidentale dans les deux autres quadrants intermédiaires.

Cette erreur est appelée quadrantale parce qu'elle change de signe dans chaque quadrant. On convient de lui donner le signe + lorsque, le cap étant dans le quadrant Nord-Est, elle est orientale. Les figures 8, 9, 10 et 11 montrent que des tiges isolées placées dans la direction

Digitized by Google

de l'axe longitudinal produisent des déviations quadrantales positives, tandis que des barres transversales produisent des erreurs quadrantales négatives.

e. Si toutes les pièces de fer ne sont pas disposées symétriquement, comme nous l'avons supposé, si, par exemple, une tourelle se trouve dans le voisinage de la boussole, l'action de ces pièces isolées demande à être considérée séparément ; elle donne lieu à une erreur quadrantale qui est maxima aux points cardinaux et, quelquefois à une faible déviation constante, c'est-à-dire, dont l'amplitude et le signe sont indépendants du cap.

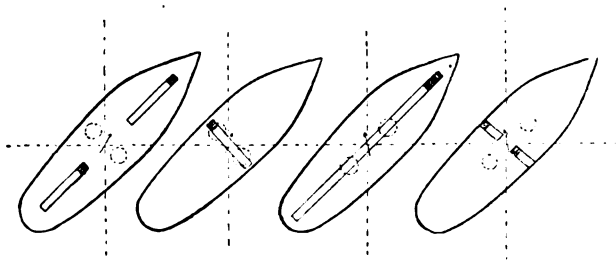


Fig. 8 à 11. — Induction par la composante horizontale, cap par le quadrant N.-E.

8 et 9, déviation orientale, compensée par des sphères placées suivant l'axe transversal ; 10 et 11, déviation occidentale, compensée par des sphères placées suivant l'axe longitudinal.

La déviation totale produite par toutes ces actions est représentée par la formule connue de Smith, qui est applicable pour les déviations ne dépassant pas 20 degrés :

$$\delta = A + B\sin\alpha + C\cos\alpha + D\sin 2\alpha + E\cos 2\alpha$$

dans laquelle

δ = la déviation totale en fonction du cap α du compas.

A, B, C, D, E, sont des coefficients, exprimés chacun en degrés d'arc.

A est constant ; il dépend de l'erreur dans l'orientation de la ligne de foi ou du fer dissymétrique.

B et C sont les composantes de l'erreur semi-circulaire ; B résulte des forces magnétiques longitudinales et C des forces magnétiques transversales.

D et E sont les composantes de l'erreur quadrantale : D est due aux parties symétriques et E à celles qui ne le sont pas.

A et E peuvent être généralement négligés.

On comprend maintenant comment ces erreurs peuvent être corrigées. Les méthodes employées actuellement ont été, d'après M. Reinold, employées pour la première fois par sir George Airy ; elles ont été portées à leur état présent par lord Kelvin.

La formule montre qu'il n'y a généralement lieu de considérer que trois composantes de l'erreur, à savoir : B, C et D. B et C se rapportant à l'erreur semi-circulaire et D à l'erreur quadrantale. B provient des forces magnétiques longitudinales produites par le fer doux vertical et l'aimantation permanente du navire ; C provient des forces transversales dues uniquement au magnétisme permanent.

C peut être corrigé par des aimants placés dans l'habitude à une distance suffisante sous la rose magnétique, et dont les pôles suds sont tournés vers tribord si l'erreur est à bâbord *et vice versa*.

B provient à la fois du magnétisme permanent et de l'induction terrestre ; il faut commencer par déterminer la partie de l'erreur qui doit être attribuée au magnétisme permanent ; on la compense au moyen d'aimants permanents convenablement placés dans l'habitacle ; la partie attribuable à l'induction tellurique se compense au moyen d'une tige de fer verticale placée, près de l'habitacle, soit en avant soit en arrière, de façon que son action sur l'aimant du compas soit précisément égale et de signe contraire à celle du fer du navire. Cette tige est connue sous le nom de barre de Flinders.

Quant aux déviations quadrantales, elles se compensent de même au moyen de pièces de fer placées près du compas. Ce sont d'ordinaire de grosses sphères disposées comme l'indiquent les figures 8 à 11. Leur action, après ce que nous avons déjà dit, se comprend aisément. Si l'erreur est positive, les sphères doivent être placées à bâbord et à tribord du compas ; si elle est négative, elles doivent être

Digitized by Google

disposées suivant l'axe longitudinal du navire. Dans la plupart des cas, l'erreur est positive, et les spères quadrantales sont supportées sur des bras montés directement sur le fût du compas.

Nous avons supposé implicitement jusqu'ici, que le navire était dans une position verticale; si l'on considère le roulis et le tangage, la question se complique encore. En effet, l'arrangement symétrique du fer et des correcteurs, par rapport au compas, est détruit; le fer horizontal devient incliné et est aimanté par la composante verticale ; des forces qui agissaient verticalement ont maintenant une composante horizontale qui tend à dévier l'aiguille aimantée. Les figures 5, 6 et 7 montrent que, dans le cas d'une barre transversale continue, l'erreur produite par l'inclinaison du navire est au côté le plus haut du navire ; des masses

Tableau I.

ERREUR DU COMPAS ÉTALON DUE AU ROULIS
(POUR UN NAVIRE CONSTRUIT ET NAVIGANT SOUS NOS LATITUDES ET INCLINANT A TRIBORD)

CAUSES DE L'ERREUR		DIRECTION DE L'ERREUR	L'ERREUR EST MAXIMA quand le cap est :	COMPENSATION
Principales :				
1. Barres transversales horizontales devenues inclinées. Induction par la composante verticale du magnétisme terrestre.	c	Partie élevée du navire.	N. ou S., varie comme cos α.	En partie par les sphères quadrantales.
2. Masses de fer perpendiculaires au pont verticalement sous le compas.	k	*Idem.*	*Idem.*	Par un ou plusieurs aimants placés verticalement dans l'habitacle sous le compas et dont les pôles Nord sont généralement dirigés vers le haut.
3. Force perpendiculaire au pont, due au magnétisme permanent.	R	*Idem* (généralement)	*Idem.*	
Secondaires :				
4. Masses de fer perpendiculaires au pont, et qui ne sont pas verticalement sous le compas.	c	A l'Est.	E. ou O., varie comme $\sin^2 \alpha$.	Barres de Flinders.
5. Masses de fer horizontales disposées en avant et en arrière.	g	A l'Ouest, si le compas est à l'arrière du navire ; à l'Est si le compas est à l'avant.	N. ou S., varie comme $\cos^2 \alpha$.	Généralement pas compensée.

isolées, à bâbord ou à tribord produisent une erreur en sens opposé. Les pièces verticales en fer, sous le compas, donnent lieu, lorsqu'elles sont inclinées, à une erreur vers le côté le plus élevé du navire. L'action du magnétisme permanent du navire dépend de l'emplacement du compas; l'erreur produite est généralement dans la même direction.

Le tableau ci-dessus résume les principales causes d'erreur. On voit que la déviation a généralement lieu au côté le plus élevé et qu'elle est maxima pour les caps Nord et Sud, nulle pour les caps Est et Ouest.

Les erreurs 1 et 2 se composent en partie par les sphères quadrantales elles-mêmes ; le restant de l'erreur totale se compense par des aimants permanents placés dans un tube qui peut glisser dans une rainure verticale placée au centre de l'habitacle.

Le réglage des compensateurs dans les ports d'attache ou de relâche, ainsi qu'en cours de navigation nécessite des opérations faciles à exécuter, mais dont la description, pour être utile, demanderait de plus grands développements que nous ne pourrions lui en donner aujourd'hui.

G. P.

Digitized by Google

VARIÉTÉ

L'invention de l'Electro-Aimant.

Nous avions toujours attribué l'invention de l'électro-aimant à Arago, nous fiant en cela au témoignage de tous les auteurs qui ont écrit sur cette partie de la science électrique. Ce n'est donc pas sans un réel étonnement que nous avons trouvé dans l'excellent ouvrage de M. S. P. Thompson sur l'*Electro-aimant*(1), que Sturgeon devait être considéré comme le véritable inventeur de ce merveilleux organe, base de presque toutes les applications industrielles du courant électrique. Les ouvrages du savant professeur de Londres sont toujours très bien documentés ; les expériences et découvertes d'Arago y sont donc mentionnées ; mais l'importance qui leur est attribuée est si minime que toute la gloire semble rejaillir sur le physicien anglais Sturgeon.

Voici comment s'exprime M. Thompson :

« L'action d'un courant électrique circulant dans un fil sur une aiguille aimantée située dans son voisinage, a été découverte par Œrsted, en 1820 (2). Cette révélation de propriétés magnétiques possédées par un courant électrique a été, bientôt après, suivie des recherches d'Ampère (3), Arago (4), Davy (5), et des dispositions imaginées par plusieurs autres expérimentateurs, comprenant la pile flottante et la bobine de de la Rive (6), le multiplicateur de Schweigger (7), le galvanomètre de Cumming (8), l'appareil de Faraday (9) pour la rotation d'un aimant permanent, le pendule oscillant de Marsh (1) et la roue étoilée de Barlow (2). Mais la découverte de l'électro-aimant ne remonte qu'à 1825 ».

Les expériences d'Arago ne constitueraient « qu'un grand pas vers la découverte » de l'électro-aimant caractérisé par un *noyau de fer doux susceptible de recevoir, sous l'influence du courant électrique, une aimantation temporaire* facilement renversable. Quant au « premier électro-aimant pour lequel sa forme permette réellement de revendiquer ce nom », il « fut imaginé par William Sturgeon, en 1825 (3) ».

Une si grave erreur historique s'était-elle donc propagée jusqu'à nous, invariablement reproduite par tous les auteurs sans soulever jamais une protestation? Et l'invention de l'électro-aimant devait-elle, quittant le drapeau de la science française, aller grossir le bagage de la gloire scientifique des compatriotes de M. S.-P. Thompson? Ou bien Arago, se bornant à son rôle de savant, de théoricien, avait-il, comme on le croyait, étudié expérimentalement tous les points qui se rapportaient à sa découverte, laissant à d'autres le soin de faire en grand ce qu'il avait réalisé en petit?

Sturgeon n'aurait alors que le mérite, très grand, d'ailleurs, d'avoir construit le premier un électro-aimant de grandes dimensions et de forme pratique, montrant tout le parti qu'on pouvait tirer de la découverte d'Arago.

Dans une invention comme celle qui nous occupe, en effet, le véritable inventeur est celui qui a posé le *principe fondamental* sur lequel repose la construction de *tous* les appareils analogues, et non celui qui a construit un appareil de forme déterminée appliquant ces principes. Pixii a inventé et construit la première machine magnéto-électrique. Personne n'a jamais, pourtant, exagéré la valeur de son invention; l'idée paraîtrait plutôt risi-

(1) S. P. Thompson. L'*Electro-aimant*, traduit par *E. Boistel*, Paris, 1895, p. 1 à 10.

(2) Œrsted. *Annal. de philosophie* de Thomson, octobre 1820. — *Journal of the Soc. of teleg. Eng.*, t. V, p. 464, 1876.

(3) Ampère. *Ann. de Chimie et de Phys.*, t. XV, p. 59 et 170, 1820.

(4) Arago, *Ibid.*, t. XV, p. 93, 1820.]

(5) Davy. *Phil. Trans.*, 1821.

(6) De la Rive. — *Bill. Univ.*, mars 1821.

(7) Schweigger. *Ibid.*

(8) Cumming. *Camb. Phil. Trans.*, 1821.

(9) Faraday. *Quarterly Journal of Science*, sept. 1821.

(1) Marsh. *Magnetic attractions*, de Barlow, in-8°, Londres, 2e édit., 1823.

(2) Barlow. *Ibid.*

(3) Sturgeon. *Trans. Soc. of Arts*, t. XL III. p. 38-125.

Digitized by Google

ble, de quiconque chercherait à prouver que sa gloire, de ce fait, dépasse celle de Faraday.

L'histoire de la découverte de l'électro-aimant tient en peu de lignes.

En juillet 1820, Œrsted avait exécuté sa mémorable expérience ; celle-ci fut connue, en septembre de la même année, dans nos contrées. Arago l'apprit de la bouche de de la Rive ; le savant genevois la répéta devant lui. De retour à Paris, Arago entreprit une série d'expériences à ce sujet, et bientôt il reconnut qu'un fil parcouru par un courant électrique se comporte comme un véritable aimant, attirant les limailles de fer et d'acier. Dans les procès-verbaux des séances du Bureau des Longitudes, on lit ce qui suit à la date du 20 septembre 1820 : « M. Arago parle d'une nouvelle expérience de laquelle il résulte que la pile voltaïque aimante le fer doux ».

Cette communication à l'Académie fut suivie, dans les *Annales de Chimie et de Physique* pour 1820, d'un article détaillé dans lequel Arago déclare que : « Le fil conjonctif ne communique au fer doux qu'une aimantation momentanée. »

Ces premières expériences furent exécutées avec des fils droits ; sur le conseil d'Ampère, afin d'augmenter l'intensité de l'aimantation, elles furent répétées en employant des fils isolés les uns des autres et enroulés plusieurs fois en hélice autour des corps à aimanter. Ils reconnurent que la « vertu magnétique » ainsi développée est très forte. Arago et Ampère déterminèrent les lois que suit cette aimantation lorsqu'on modifie le sens du courant ou l'enroulement du fil et, comme pour ces recherches il était plus commode d'aimanter d'une façon permanente des tiges d'acier sur lesquelles on pouvait ensuite étudier à loisir les phénomènes produits, ils employèrent dans la suite principalement des tiges d'acier.

Mais il n'en est pas moins vrai que l'électro-aimant était créé, par ces recherches, dans ses éléments essentiels, à savoir : l'aimantation temporaire du fer doux par un fil conducteur enroulé en hélice plusieurs fois autour du fer, afin d'augmenter l'intensité d'aimantation ; le sens de cette aimantation était déterminé par les lois établies. Ces expériences des deux savants français eurent un retentissement considérable dans le monde entier ; elles furent répétées, modifiées, amplifiées, mais le principe restait toujours identique. Aussi, lorsque les expériences de Sturgeon furent publiées, elles furent peu remarquées ; on les considéra comme une démonstration curieuse par son intensité des phénomènes électro-magnétiques, ce qu'elles étaient, en réalité, car elles ne diffèrent de celles d'Arago que par l'emploi d'un noyau plus gros. Nous sommes le premier à reconnaître l'importance du perfectionnement apporté par Sturgeon et la valeur de cet ancien cordonnier devenu un des meilleurs physiciens de son temps ; mais nous ne pouvons nous résoudre à faire passer l'enfant pour le père.

Ce n'est pas que nous attribuions aux questions historiques une importance exagérée, ni que nous soyons guidé par un sentiment de chauvinisme complètement déplacé dans des questions d'ordre purement scientifique. Rien ne sert de fausser la vérité, surtout quand elle se dégage nettement de documents irréfutables inscrits au grand livre de l'histoire. Aussi bien, n'était l'autorité qui s'attache à tout ce qui porte la signature de M. S.-P. Thompson, n'aurions-nous pas même cru nécessaire de relever cette erreur.

G. PELLISSIER.

BIBLIOGRAPHIE

Électricité appliquée à la marine, par P. MINEL, ingénieur des constructions navales (1 vol. petit in-8° de 203 pages de l'Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire, dirigée par M. Léauté, *Gauthier-Villars et fils*, *G. Masson*, éditeurs).

Les applications de l'électricité à la marine devenant de jour en jour plus nombreuses, l'auteur a été heureusement inspiré en réunis-

Digitized by Google

sant dans un petit volume un ensemble très complet de renseignements relatifs à l'éclairage électrique des navires.

Dans les premiers chapitres de son ouvrage, M. Minel s'est attaché à exposer le plus brièvement possible, tout en restant clair, le fonctionnement des générateurs d'électricité employés dans la marine, renvoyant le lecteur pour plus de détails à l'*Introduction à l'électricité industrielle* (2 vol.) qu'il a publiée antérieurement dans la collection des Aide-Mémoire. Nous y trouvons des généralités sur les divers types de machines dynamos à courant continu, sur la machine magnéto Meritens et sur les accumulateurs. L'auteur ne fait guère que citer les machines à courants alternatifs, leur application dans la marine étant jusqu'ici des plus restreintes et, avec juste raison, passe complètement sous silence les divers types de piles qui ne sont utilisées que pour l'inflammation des torpilles.

Après un chapitre consacré à quelques généralités sur les moteurs électriques, l'auteur passe aux lampes à incandescence, puis aux lampes à arcs qui ont un intérêt tout spécial par suite de l'emploi que l'on fait constamment dans la marine de guerre de puissants projecteurs. Il examine ensuite les conditions que doit remplir un projet d'installation de l'éclairage électrique à bord d'un bâtiment et termine par la description sommaire des installations faites sur quelques bâtiments de notre flotte : le *Fulminant*, le *Formidable*, le *Marceau*, etc.

Nous avons été surpris, par suite de la généralité du titre adopté, de ne trouver aucune indication de l'emploi de l'électricité pour la transmission des signaux d'un point à l'autre du bâtiment, pour la manœuvre du gouvernail, pour le pointage des canons, pour la mise en mouvement des tourelles, etc., questions qui, nous semble-t-il, eussent été à leur place dans un ouvrage consacré aux applications de l'électricité à la marine. Mais c'est une lacune qu'il sera facile à l'auteur de combler par la publication d'un nouveau volume, et celui que nous présentons à nos lecteurs contient un assez grand nombre d'utiles renseignements pour que son succès soit assuré auprès des officiers de marine et du personnel chargé de la conduite des installations d'éclairage électrique à bord des navires.

J. BLONDIN.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Alger. — Éclairage. En confirmation de ce que nous avons déjà annoncé (n° 10, 1895, p. 480), nous apprenons que la Compagnie du Gaz s'est décidée à reprendre les négociations entamées avec la ville d'Alger en vue de faire de l'électricité concurremment avec l'éclairage au gaz, négociations qui n'avaient pas abouti en raison de l'interprétation à donner au contrat qui lie la ville et la Compagnie Lebon.

Nous croyons savoir que cette Compagnie, tout en maintenant ses prétentions et réserves, c'est-à-dire n'admettant ni la concurrence, ni l'option, consentirait à faire un essai libre d'éclairage électrique en créant une station.

On débuterait par l'éclairage du théâtre et des établissements particuliers, puis on ferait de l'éclairage public sur les grandes artères. Si l'expérience était démonstrative et que le prix convienne, l'éclairage nouveau serait étendu, concurremment avec l'éclairage au gaz, aux autres quartiers. C'est seulement alors qu'un traité pourrait intervenir entre la ville et la Compagnie.

Si cette combinaison était admise, elle simplifierait la situation, et son application pourrait être immédiate.

Bagnères-de-Bigorre. — Éclairage. Cette ville est liée avec la Compagnie du Gaz par un traité qui n'expire qu'en 1920, et assure à cette Compagnie le privilège exclusif de l'éclairage. Or, la Compagnie a fait constater récemment qu'un industriel éclairait son usine à l'aide de fils électriques passant au-dessus des voies publiques, et qu'un autre industriel éclaire dans les mêmes conditions la gare de Bagnères et les villas qu'il possède. En outre, la ville, se basant sur un article du traité, avait mis la Compagnie en demeure d'avoir à réaliser l'application, au profit de la Ville et des habitants, du système d'éclairage par l'électricité;

Digitized by Google

et à faire bénéficier la Ville et les particuliers de l'abaissement notable dans les prix de revient qui est le resultat de ce procédé d'éclairage.

Le conseil de préfecture des Hautes-Pyrénées, considérant que de récents procès ont montré que « le prix de l'éclairage électrique est encore beaucoup plus élevé que celui de l'éclairage au gaz », mais jugeant d'autre part insuffisants les éléments d'appréciation qu'il possède, a arrêté qu'il sera procédé à une expertise contradictoire à l'effet de :

1° Déterminer si, en tenant compte des dépenses à effectuer pour une installation électrique le prix de revient sera plus économique à Bagnères que le prix de revient de l'unité de l'éclairage au gaz ;

2° Au cas où les parties ne seraient pas d'accord sur le point de savoir si la deuxième condition du traité est réalisée, rechercher et dire si l'éclairage par l'électricité a été pratiqué par une expérimentation satisfaisante de trois années consécutives, à Paris ou dans deux autres villes d'une importance au moins égale à celle de Bagnères.

Beaujeu. — Transport d'énergie. Il existe depuis peu de temps à Beaujeu (Rhône) un transport de force pour la distribution de force de l'éclairage et de la force motrice aux particuliers.

L'installation, qui a été faite par la Compagnie régionale d'électricité avec le concours de l'ingénieur de la Société M. Biles, est remarquable à tous égards. Cette installation fonctionne par courants alternatifs à la tension de 10 000 volts.

Darnétal. — Le conseil municipal de cette ville avait autorisé un industriel à procéder à l'installation de l'éclairage électrique et à placer, dans ce but, sur la voirie urbaine, le nombre de poteaux nécessaires à la conduite des fils. La Compagnie du Gaz a vu dans cette concession un préjudice à elle causé par la ville. Toutefois, il résulte du traité du Gaz que, si la ville s'est interdit le droit de concéder son sous-sol à une autre Compagnie d'éclairage, elle n'a pas abandonné la faculté de se servir d'un autre éclairage que le gaz, et que c'est donc à bon droit que l'autorisation dont il s'agit a été accordée.

Malgré cette constatation, le Conseil de préfecture de la Seine-Inférieure interprète le traité en ce sens que la ville n'est en droit d'employer un mode d'éclairage autre que le gaz que si ce nouveau mode d'éclairage est plus économique que l'ancien. Une expertise est ordonnée.

Douai. — Une commission municipale étudie la question de l'éclairage des nouveaux quartiers créés à Douai par suite du démantèlement. On a envisagé tout d'abord l'éclairage au gaz, mais on nous assure que la question de l'éclairage possible par l'électricité ne serait pas négligée, et que la Compagnie du Gaz ne serait pas rebelle à l'idée d'établir une canalisation avec câbles partant de l'usine actuelle et allant jusqu'au théâtre, de façon à éclairer celui-ci, pourvu que, sur le parcours, des habitants en nombre suffisant se fassent éclairer par la lumière électrique et en consomment une quantité déterminée.

Lannion. — La police d'abonnement à souscrire entre M. E. de Fages, propriétaire de la station d'énergie électrique et les habitants, comporte entre autres les articles suivants :

Art. 4. — *Abonnement au compteur* : le prix en est fixé :

1° Au compteur horaire à

0 fr.	035	l'heure par lampe de	10	bougies
0	05	—	16	—
0	065	—	20	—

2° Au compteur d'énergie à 0 fr. 10 l'hectowatt-heure.

Le prix du compteur horaire est de 40 francs ; celui du compteur de quantité, de 100 francs et au-dessus suivant sa puissance.

Art. 5. — *Abonnement à forfait, à l'année*, aux heures prescrites par l'article 1er :

0 fr.	10	par jour par	lampe de 10 bougies.
0	11	—	pour deux petites lampes installées dans un couloir, une cave, une écurie, ou un grenier.
0	15	—	par lampe de 16 bougies.
0	18	—	— 20 —

Art. 6. — Les lampes usées ou brisées seront remplacées à raison de 1 fr. 50 l'une, dès que l'abonné aura prévenu l'usine électrique.

Ce prix comprend la mise en place et le plombage de la lampe. Les plombs devront rester intacts sous peine par l'abonné de payer le maximum pour le mois écoulé.

Art. 7. — Le prix d'abonnement sera perçu mensuellement.

Les lampes au compteur devront fournir chacune un minimum de 9 francs par semestre, qui sera perçu le 1er janvier et le 1er juillet, déduction des sommes déjà encaissées pour lesdites lampes.

Digitized by Google

Lyon. — Éclairage. La Société lyonnaise des forces motrices du Rhône vient de renouveler es propositions qu'elle avait faites à la ville l'an dernier.

Elle offre de distribuer, dès le commencement de l'année 1897, l'énergie électrique, en appliquant pour l'éclairage les prix maxima de 9 centimes l'hectowatt-heure pour les particuliers et de 7 centimes l'hectowatt-heure pour les services publics.

D'autre part, la situation créée par la Compagnie du Gaz qui a établi une partie de ses canalisations électriques en empruntant la voie publique sans autorisation n'est pas près d'être éclaircie. Les édiles lyonnais s'en inquiètent au point de vue du traité existant entre la ville et cette Compagnie. Non seulement cette dernière prétend ne fournir le courant qu'à quelques privilégiés, mais encore se basant sur le monopole que lui confère le traité, fait-elle payer un prix exagéré. Il est probable que la question donnera lieu à de longs débats, d'autant plus que la condition de l'abandon à la ville en fin de concession (en 1903) du réseau électrique est contestée par la Compagnie. En attendant, pas une des voies publiques de Lyon n'est éclairée à l'électricité.

Moulins. — Éclairage. L'usine d'électricité construite aux Bataillots a fait récemment ses essais de fonctionnement, afin de pouvoir assurer l'éclairage électrique pour l'arrivée du Président de la République.

Neuville (Nord). — Éclairage. Une usine électrique a été créée dans cette localité. Elle comporte deux génératrices de 70 chevaux.

Perpignan. — Éclairage. La Compagnie du Gaz de Perpignan avait trouvé un moyen original de punir ceux de ses abonnés qui employaient concurremment le gaz et l'électricité. Elle leur faisait payer son produit 32 centimes le mètre cube au lieu du tarif de 28 centimes le mètre cube aux autres consommateurs. La chambre syndicale des horlogers et bijoutiers, dont les membres étaient principalement atteints par cette mesure vexatoire, a protesté énergiquement auprès du Conseil municipal et, la Compagnie du Gaz se sentant sur un mauvais terrain, vient de consentir gracieusement (mais un peu tard) à unifier son prix sur la base minima.

Picauville. — Traction. Nous croyons intéressant de signaler l'organisation d'un service de traction sur route à l'aide d'un système nouveau, l'omnibus à vapeur, qui paraît être un premier résultat pratique du concours organisé l'année dernière par le *Petit Journal.*

Le préfet de la Manche vient d'autoriser M. Sadot, pharmacien à Picauville, à faire circuler les voitures publiques à vapeur de M. Scotte sur les routes nationales et autres du département, et notamment sur la route de Pont-l'Abbé-Picauville à Chef-du-Pont, station du chemin de fer de Paris à Cherbourg.

Les envois devront se composer, dit l'arrêté préfectoral, de :

« 1° Une voiture motrice à vapeur d'une longueur de 5 m. 50 et d'un poids de 1870 kilogrammes.

« 2° D'une ou deux voitures attelées, d'une longueur chacune de 6 m. 60 et du poids ordinaire d'une voiture omnibus à 30 places.

« La longueur totale des convois ne dépassera pas 25 mètres. Le poids de la locomotive avec ses approvisionnements ne dépassera pas 6 tonnes. Les voitures annexes ne seront pas chargées de plus de 3 tonnes par essieu.

« La vitesse effective en marche ne dépassera en aucun cas 20 kilomètres à l'heure sur les routes nationales et 16 kilomètres à l'heure sur les chemins de grande communication; elle sera réduite à 8 kilomètres à la traversée des lieux habités ou en cas d'encombrement sur les routes et chemins.

Prades. — Éclairage. A la suite de l'arrêt du Conseil d'État (voir n° 13, 1895, p. 608) rendu contre la ville de Prades, une transaction est intervenue, et, M. Rous, électricien, pour mettre fin à la situation créée, a acquis l'usine à gaz des héritiers Jauze.

St-Quentin. — Traction. Une commission spéciale nommée par le Conseil municipal de Saint-Quentin étudie un certain nombre de propositions relatives à l'établissement d'un réseau de tramways à traction mécanique.

Parmi les propositions à l'étude, on signale celle soumise par M. Popp, de Paris, qui s'engage à doter la ville de tout un réseau de trains à air comprimé desservant les principales rues et les boulevards, sans subvention aucune, et à terminer les travaux pour le mois d'octobre.

Toulon. — Traction électrique. La Société anonyme d'électricité de Bruxelles (Bouckaert et C^ie^)

Digitized by Google

vient d'obtenir la commande du matériel de traction électrique du réseau de Toulon qui a actuellement un développement de 11,5 km et sera porté, dans quelques mois, à 18 kilomètres.

L'installation doit être complètement terminée pour le 1er septembre prochain, mais, dès le 1er juin, la traction électrique sera appliquée sur une partie de la voie.

La commande passée à la Société comporte l'installation complète : machines à vapeur, dynamos, chaudières, renouvellement de la voie, la fourniture de 30 voitures automotrices, etc.

En service normal, il y aura en fonctionnement 24 voitures automotrices. Chacune de ces voitures est munie de deux moteurs de 15 chevaux. Ces deux moteurs sont nécessaires en raison de la possibilité à prévoir de faire remorquer des voitures supplémentaires ; en outre, on obtient ainsi une sorte de réserve pour le cas où l'un des moteurs se trouverait extraordinairement mis hors de service.

Les moteurs sont actionnés par courant continu sous une tension de 550 volts. La station comporte 3 dynamos de 200 chevaux chacune dont l'une forme réserve, ainsi que les machines à vapeur et les chaudières correspondantes. Les dynamos absorbent 200 chevaux et développent 132,5 kw. Leur rendement est, par conséquent, de 90 p. 100; elles font environ 400 tours par minute.

La ligne aérienne est en fil de bronze silicieux de 8 mm. de diamètre.

Pour augmenter la conductibilité des rails servant de circuit de retour, on réunit tous les joints par des étriers en cuivre.

En cas de court circuit ou de dérangement quelconque dans une section, des interrupteurs automatiques spéciaux, placés à la station, mettent immédiatement cette section hors circuit et la séparent du reste de la ligne.

Chaque voiture automotrice peut remorquer une voiture supplémentaire. La vitesse maxima admise est de 10 km. à l'intérieur de la ville et de 15 km. à l'extérieur.

CHAMBRE SYNDICALE DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES

Réunion du mardi 7 mai 1895.

La séance est ouverte sous la présidence de M. Harlé.

Membres présents : MM. Bancelin, Bernheim, Cance, Geoffroy, Harlé, Hillairet, de Loménie, Meyer, Mildé, Roux, Sarcia, Sartiaux, Triquet, Vernes, Vivarez.

Se sont excusés : MM. Clémençon, Denis, Ebel, Tricoche.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

Le président informe la Chambre qu'un de ses membres, M. Hillairet, vient d'être nommé chevalier de la Légion d'honneur. Cette nouvelle est accueillie par d'unanimes applaudissements.

Le président rend compte des démarches qu'il a faites, conformément au vote de la Chambre, pour l'affiliation du Syndicat au Comité central. Notre Syndicat fait désormais partie de ce groupe.

La Chambre de commerce de Paris continue à s'occuper des droits sur les fers votés par le Conseil municipal au mois de décembre dernier. Elle a rédigé une note dont la Chambre décide d'annexer le texte au présent procès-verbal.

Cette note a été remise à M. le Préfet de la Seine. Elle a été remise également à M. le Ministre du commerce avec prière d'en saisir, le cas échéant, le Conseil d'Etat.

Le président donne lecture d'une lettre de M. Robert, notre collègue, directeur de la Société Grenobloise d'électricité, donnant des renseignements complémentaires sur les charges que l'Etat veut lui imposer au sujet des lignes téléphoniques voisines de son réseau. Cette lettre est remise à la Commission chargée déjà d'affaires contentieuses analogues.

Le président dépose sur le bureau une lettre de la Chambre de Commerce française de Milan, en faveur d'un adoucissement aux rigueurs du régime douanier entre la France et l'Italie. Cette lettre est transmise à la commission chargée de l'examen des questions douanières.

Le directeur de l'annuaire le Volta, demande à recevoir le bulletin des procès-verbaux de nos séances. Il nous offre en échange l'envoi gratuit de son annuaire. Proposition adoptée.

Notre collègue syndicataire, M. Deffez, conseiller prud'homme, s'est ému du jugement de la Cour de cassation dont l'extrait a été joint au procès-verbal de notre réunion du 19 avril. Il a pensé que ce jugement pourrait donner lieu de la part de quelques patrons à des interprétations dangereuses. Il a pensé que si ce jugement était porté à la connaissance des ouvriers, il provoque-

Digitized by Google

rait chez eux des sentiments d'animosité très préjudiciables à la paix sociale.

Notre collègue, M. Radiguet, auquel M. Deffez s'en était ouvert, a pensé que les observations précédentes méritaient d'attirer l'attention de la Chambre et, dans une visite à M. Harlé, M. Radiguet a demandé que M. Deffez pût communiquer directement à la Chambre ses impressions en assistant à l'une de nos séances.

Le président expose qu'il s'est rallié à cette manière de voir, qu'il considère en effet comme très utile de prendre en pareille matière conseil d'un homme aussi expérimenté que M. Deffez qui est appelé journellement à se prononcer sur des questions en tout semblables à celle dont s'occupe le jugement précité. Il n'a pas cru cependant devoir inviter M. Deffez pour la réunion d'aujourd'hui, l'ordre du jour se trouvant déjà très chargé.

Les Conseils de prud'hommes ont été organisés par le législateur pour aplanir aussi bien que pour trancher les différends entre patrons et ouvriers.

Les ouvriers ne voient le plus souvent dans cette institution qu'un terrain de lutte alors qu'elle devait être dans l'esprit de ses créateurs un terrain de conciliation.

Ils l'ont fait dévier de son but et l'ont transformée en un instrument politique. Les patrons s'en sont, pour un grand nombre, désintéressés et ont abandonné la part d'influence qui leur revient légitimement.

Le président pense, avec M. Deffez, qu'il convient de réagir contre ces tendances; aussi propose-t-il d'inviter M. Deffez et de l'entendre à notre prochaine réunion.

La Chambre approuve cette proposition.

M. Laffargue, dans une lettre dont il est donné lecture, remercie la Chambre de la bienveillance qu'elle a montrée en déléguant plusieurs de ses membres pour assister aux examens d'électricité de la Fédération des Chauffeurs-Mécaniciens et demande à la Chambre d'accorder pour l'achat des livres destinés à être donnés en prix, une subvention de 100 francs pour les cinq cours d'électricité professés à la Fédération.

M. Sarcia, qui a interrogé un grand nombre des élèves de M. Laffargue, appuie cette demande. La Chambre félicite M. Laffargue du succès qu'il a obtenu et accorde la subvention.

M. Hillairet rend compte de la réunion à laquelle il a assisté avec M. Mildé à l'école Diderot sous la présidence de M. Darlot.

La Commission a examiné les trois questions suivantes :

1° Y a-t-il nécessité à créer un enseignement pratique d'électricité?

2° L'exercice pratique de 12 heures par semaine peut-il être considéré comme suffisant?

3° Choix du personnel.

Aux deux premières questions il a été répondu « oui ».

En ce qui concerne la troisième, la Commission a déclaré que le candidat proposé antérieurement par M. Sciama était trop jeune, et a prié la Chambre de lui faire de nouvelles propositions. Le traitement serait de 1000 fr. par an.

L'école Diderot a commencé à aménager un local; les fonds manquent pour le terminer. Elle s'adresse à la Chambre pour obtenir à titre gracieux divers appareils, quelques dynamos, lampes, interrupteurs, appareils de mesure, etc.

Enfin, une sous-commission a été nommée pour l'étude d'un programme; elle se compose de MM. Hillairet, Dini, Kern et d'un délégué ouvrier.

L'ordre du jour appelle la lecture des rapports de la Commission des affaires contentieuses. La Commission s'est réunie le 25 avril et le 2 mai.

M. de Loménie donne lecture à la Chambre de son rapport sur la demande de la Société dijonnaise d'électricité. Ce rapport peut être résumé comme suit :

La Société dijonnaise d'électricité a demandé à la Chambre syndicale de la conseiller sur les moyens à employer pour régulariser la situation compliquée dans laquelle elle se trouve, au point de vue de ses canalisations sur la voie publique.

M. de Brancion a été *autorisé*, par arrêté du maire de Dijon en date du 10 juin 1891, à établir un réseau de canalisation, soit souterraine soit aérienne sur les voies publiques de cette ville. La municipalité a accepté la substitution de la Société dijonnaise à M. de Brancion.

L'arrêté précité constitue une permission de voirie générale qui réserve toutefois, pour tous les travaux à exécuter au-dessus ou dans le sol des voies qui ne dépendent pas de la voirie urbaine, les prescriptions d'un arrêté préfectoral à intervenir.

L'arrêté municipal a été visé par le préfet, conformément à la loi du 5 avril 1884, c'est-à-dire

Digitized by Google

que le préfet n'a mis aucune opposition à son exécution, mais aucun arrêté préfectoral n'a été pris en ce qui concerne les canalisations à poser sur les voies ne dépendant pas de la voirie urbaine.

En décembre 1893 seulement, une série de procès-verbaux de contraventions de grande voirie ont été dressés contre la Société dijonnaise à raison de travaux exécutés sur la grande voirie sans autorisations préfectorales régulières.

Les contrevenants ont été déférés au Conseil de Préfecture qui, par arrêté en date du 11 décembre 1894, les a relaxés des poursuites, sans entrer dans le fond du débat, et par ce motif préjudiciel que les procès-verbaux de contravention étaient irréguliers dans la forme.

Les poursuites en sont restées là; la Société dijonnaise qui avait commencé dès le mois d'août 1893, c'est-à-dire avant les procès-verbaux de contravention dont il vient d'être parlé, à demander l'autorisation préfectorale, a renouvelé depuis cette demande une trentaine de fois sans obtenir aucun résultat, ni même à ce qu'il semble aucune réponse.

Quelle ligne de conduite tenir pour sortir de cette situation anormale? Telle est la question qu'elle pose à la Chambre.

En raison du long délai, constaté par l'arrêté même du Conseil de préfecture précité, qui s'est écoulé entre la pose par la Société dijonnaise des canalisations sur certaines voies dépendant de la grande voirie, et la date à laquelle ont été dressés les procès-verbaux de contravention, la Société dijonnaise peut-elle se prévaloir d'une autorisation tacite, non révocable (à moins bien entendu qu'il s'agisse de l'intérêt de la viabilité et de la conservation du domaine public).

Après avoir examiné et considéré les arrêts sur les affaires de Villeneuve-sur-Lot et de Sedan, le rapporteur conclut que non, et qu'elle doit, par tous les moyens possibles, poursuivre l'obtention de l'autorisation préfectorale régulière.

Le rapporteur examine ensuite ce qui s'oppose maintenant à ce que la Société dijonnaise obtienne l'autorisation préfectorale, qu'elle demande.

Il semble que le préfet, retenu par la circulaire ministérielle du 16 août 1893, se refuse à donner l'autorisation demandée à tout autre qu'à la commune de Dijon elle-même, et que la municipalité se croyant gênée par les conventions de gaz qu'elle a récemment renouvelées ou étant effrayée par les récents arrêts du Conseil d'Etat, se refuse à faire quoi que ce soit qui puisse rien ajouter à l'autorisation donnée à M. de Brancion.

La Société dijonnaise peut-elle en droit contraindre le préfet ou la municipalité à sortir de cette situation.

Il paraît difficile de soutenir que l'arrêté du maire de Dijon constitue une concession dans le sens de la distinction très nette établie par la circulaire du 16 août 1893 entre la permission de voirie et le contrat de concession.

Le mot de concession n'éveille pas toujours dans l'esprit une idée très différente du mot de « permission ». Il est certainement des cas où ces deux mots ont été employés l'un pour l'autre. Mais la distinction se précise si au lieu d'employer le mot de « concession » seulement, on parle comme l'avait fait la circulaire d'août 1893 de « contrat » de concession; et l'on est bien obligé de reconnaître qu'entre une permission qui est une forme de règlement de police, et une convention qui est une forme de marché de travaux publics, il y a une différence très grande. Le contrat de concession est un type de contrat parfaitement déterminé en droit administratif; et ses caractères en ce qui concerne les contrats de concession pour des travaux d'intérêt national, sont exactement les mêmes en ce qui concerne les contrats de concession d'intérêt municipal.

Et ce qui caractérise le contrat de concession dans tous les cas, c'est qu'il est synallagmatique, qu'en retour d'obligations prises par l'administration qui fait la concession, le concessionnaire prend envers elle d'autres obligations; la première, la plus générale de toutes ces obligations, celle sans laquelle il n'y a pas de contrat de concession, c'est l'obligation d'effectuer le service public qui fait l'objet de la concession moyennant un tarif déterminé, que le concessionnaire n'a plus la faculté de dépasser.

L'autorisation donnée le 10 juin 1891 par le maire de Dijon ne saurait être considérée comme formant un contrat de concession. Elle n'est bien qu'une permission de voirie.

Dans l'état actuel de la réglementation administrative, la Société dijonnaise devra donc presser la municipalité de demander, pour la lui rétrocéder, la concession de l'éclairage électrique.

Après examen du traité de la ville de Dijon avec la Compagnie du gaz, aucun motif de droit tiré des engagements de la ville ne nous paraît

Digitized by Google

pouvoir empêcher la ville de régulariser la situation de la Compagnie d'électricité en passant avec elle un véritable contrat conformément à la circulaire d'août 1893. Elle n'a pas de raison de s'y refuser si le service de la Compagnie d'électricité et les conditions financières de son établissement lui donnent maintenant les garanties qu'elle a pu ne pas trouver dans les premiers exploitants.

La Chambre, après avoir entendu la lecture du très remarquable rapport de M. de Loménie, décide qu'il sera communiqué à la Société dijonnaise.

M. Meyer, comme rapporteur, rend compte de la situation de la Société Fiche et Cie de Montauban, qui a reçu l'injonction d'enlever ses câbles sur la route nationale le 9 mai. M. Meyer propose que le président fasse des démarches auprès du Ministre pour obtenir de surseoir à cette ordonnance jusqu'à ce que le Conseil d'Etat devant qui l'affaire a été portée ait statué. Proposition adoptée.

La même conclusion est adoptée sur le rapport de M. Clémançon, pour répondre à la demande formulée par M. Bruandet, directeur de la Société d'éclairage électrique de Saint-Amand.

Le président de la Société grenobloise d'éclairage électrique a soumis à la Chambre syndicale deux questions contentieuses.

La première est relative à la base de l'impôt de la patente dont est frappée l'usine de cette Société, et la seconde vise une exigence de l'Administration des Télégraphes qui tend à faire payer à cette Société les frais d'installation des fils téléphoniques de retour de tous les postes téléphoniques du réseau urbain. Cette exigence est basée sur l'induction produite par les conducteurs de lumière.

M. Sartiaux, nommé rapporteur, a exposé l'affaire dans les termes suivants :

Pour la première question, la loi de finances impose pour les usines d'éclairage électrique, avec le 1/50 de la valeur locative, une taxe de un franc par kilo watt-heure de puissance utile, déduction tion faite d'environ un tiers pour la réserve. La Société grenobloise n'a donc qu'à faire constater quelles sont les machines dynamos qui constituent la réserve de son usine afin d'obtenir la réduction d'une partie de sa patente. Dans ce but elle doit adresser dans les trois mois qui suivent la publication du rôle des contributions une demande sur timbre à M. le préfet du département.

Pour la deuxième question, le décret du 15 mai 1888 ne prévoit aucune obligation de celles qu'indique la Société et qui lui seraient imposées par l'Administration des Télégraphes. Seul l'art. 6 oblige l'emploi des fils recouverts si les conducteurs d'éclairage croisent une ligne télégraphique ou téléphonique ou passent à une distance de moins de 2 m. d'une de ces lignes. La Société grenobloise étant établie antérieurement au réseau téléphonique urbain, est dans son droit de repousser les prétentions de l'Administration, sauf pour l'isolement de ses conducteurs d'éclairage.

Mais, d'autre part, il y a lieu de rappeler que la Chambre des Députés a voté une nouvelle loi actuellement soumise au vote du Sénat qui prévoit au contraire (art. 7) que dans le cas signalé par la Société grenobloise, les frais nécessités par les déplacements ou modifications des lignes télégraphiques ou téléphoniques en raison du trouble apporté dans les transmissions par des lignes d'éclairage ou de force préexistantes sont à la charge de l'exploitant.

Il est probable que cette loi sera votée et que la Société grenobloise devra s'y conformer.

La Chambre décide de porter ce rapport à la connaissance de la Société grenobloise.

La Chambre décide également de porter à la connaissance de ses adhérents la demande de M. Girbal, quartier-maître-mécanicien-torpilleur instructeur à bord de l'*Algésiras* qui, devant bientôt être congédié, désire travailler comme électricien.

L'ordre du jour étant épuisé la séance est levée.

Communication téléphonique entre les navires de guerre et la côte. — Tous les navires de guerre qui assisteront à l'inauguration du canal de Kiel seront reliés téléphoniquement à l'aide de câbles avec un bureau central qu'on établira dans le port. Les câbles seront attachés à des bouées. Ils pourront être reliés avec le réseau téléphonique de la ville de Kiel.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Digitized by Google

Tome III. Samedi 15 Juin 1895. 2e Année. — N° 24.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

CALCUL RELATIF A UNE DYNAMO SHUNT DU TYPE MANCHESTER

Nous avons montré précédemment (V. *Écl. Électrique*, nos 22) dans une étude théorique et expérimentale d'une génératrice Brown à courants diphasés à excitation indépendante, comment il faut comprendre exactement la théorie d'Hopkinson, et comment il y a lieu de la compléter par les principes les mieux fondés de la composition géométrique des forces magnétomotrices, pour qu'elle conduise à des résultats suffisamment d'accord avec les faits expérimentaux.

Nous nous étions efforcé de présenter au lecteur cette application d'un procédé d'ailleurs général, de manière à faire ressortir l'influence de certains facteurs dont le rôle semble parfois peu compris ; et aussi de manière à déduire des calculs d'autres éléments dont on laissait jusque maintenant la détermination à l'empirisme, appuyé de calculs approximatifs plus ou moins concordants avec des mesures approchées de pertes de flux.

Nous nous proposons aujourd'hui d'appliquer la même méthode de calcul à la détermination de la caractéristique externe d'une dynamo shunt. Nous essayerons aussi de déterminer sa variation de perte de flux et ses angles de décalage. — Il s'agit encore d'une génératrice du laboratoire électrotechnique de l'Ecole des Mines de Mons (Hainaut).

DESCRIPTION DE LA DYNAMO

La génératrice représentée aux figures 1 et 2 a été construite par l'usine Pieper, pour fournir 30 ampères sous 65 volts. Sa construction est suffisamment connue des électriciens et les figures sont assez complètes pour que nous puissions abréger.

L'excitation est produite par 2 bobines de 1 810 spires chacune d'après le constructeur et 1 852 selon nous.

Nous adopterons 1 830 pour ce nombre de spires. Le fil rond a 13/10 mm. de diamètre nu et 19/10 isolé.

L'armature en anneau possède 264 spires formées de 2 fils carrés de 14/10 mm. de côté réunis en quantité.

Le noyau en fer de l'induit est constitué par 160 tôles de 3/4 mm. d'épaisseur, faisant ensemble une épaisseur totale métallique de 120 mm. D'après les plans de construction, les diamètres extérieur et intérieur de ces tôles seraient de 167 et 120 mm.; de sorte que la section totale de l'induit aurait $4,7 \times 12 = 56,4\ cm^2$.

Cependant, des mesures directes semblent indiquer que le diamètre extérieur des tôles n'est que de 165 mm.; ce qui abaisserait la section à 54 cm². Nous adopterons 56 cm².;

Digitized by Google

mais il est évident que si cette section est trop forte, il pourrait en résulter des erreurs, puisqu'elle peut donner une différence assez sensible dans l'évaluation de la réluctance de l'armature et de l'entrefer.

RÉLUCTANCES DU CIRCUIT MAGNÉTIQUE : FORCES MAGNÉTOMOTRICES EFFECTIVES PRODUISANT LES FLUX

Établissons tout d'abord les courbes nécessaires pour nos calculs (v. *Écl. Élect.* loc. cit.) Nous nous servons des dimensions indiquées aux figures 1 et 2 et de courbes de perméabilité moyennes, tracées d'après les résultats des expériences de Hopkinson, de Rowland et de Bidwel.

Nous désignons les flux par la lettre Φ les inductions spécifiques par $\mathfrak{B}$, les perméabilités par μ et les réluctances par r. Les indices i, c, p, a et e ont rapport aux inducteurs, aux culasses, aux pièces polaires, à l'armature et à l'entrefer.

Fig. 1. Fig. 2 *bis*.

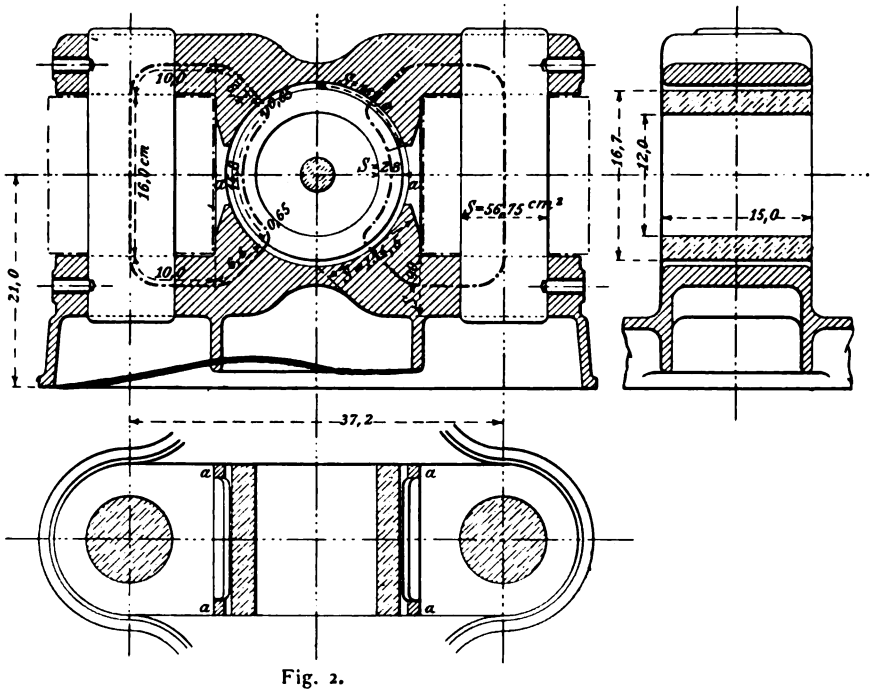


Fig. 2.

Fig. 1, 2 et 2 *bis*. — Coupes verticales et horizontale de la dynamo.

Les réluctances sont, en considérant le circuit magnétique comme étant formé de deux circuits partiels réunis en quantité :

entrefer $\dfrac{2l_e}{2s_e} = \dfrac{1,3}{2 \times 170} = 3,83 \times 10^{-3}$,

armature $\dfrac{l_a}{2\mu_a s_a} = \dfrac{0,265}{\mu_a}$;

pièces polaires $\dfrac{2l_p}{\mu_p 2s_p} = \dfrac{0,0525}{\mu_p}$;

culasses $\dfrac{2l_c}{\mu_c 2s_c} = \dfrac{0,111}{\mu_c}$;

inducteurs $\dfrac{l_i}{\mu_i 2s_i} = \dfrac{0,1416}{\mu_i}$.

Les tableaux I et II nous permettent de tracer : 1° une courbe A, figure 3, donnant la f.m.m. absorbée par la réluctance de l'armature et de l'entrefer, c'est-à-dire

$$\Phi_a (r_a + r_e);$$

2° une courbe de la f.m.m. absorbé par les

Digitized by Google

inducteurs, les culasses et les pièces polaires, c'est-à-dire

$$\Phi_i r_i + \Phi_c r_c + \Phi_p r_p \quad \text{ou} \quad \Sigma \Phi r_{icp}$$

(voir B fig. 3). Cette courbe est établie en supposant que le flux Φ_c des culasses est égal à $\frac{\Phi_i}{1,4}$ et le flux Φ_p des pièces polaires à $\frac{\Phi_i}{1,55}$. Ces nombres 1,4 et 1,55 ont été déterminés sur des dynamos de même type et de même puissance et vérifiés pour la machine que nous étudions. Ce sont peut-être des maxima pour les dynamos de même type, à cause de l'existence des prolongements *a* (fig. 1) réunissant les cornes polaires en fonte, et laissées par le constructeur pour faciliter l'alésage.

TABLEAU I

Φ_a	B_a	μ_a	r_a	r_e	$r_a + r_e$	$\Phi_a (r_a + r_e)$	OBSERVATIONS
			$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-3}$	$\times 10^3$	
0	0	520	0,51	3,83	4,34	0	Tous les calculs sont exécutés à la règle.
100 000	1780	1400	0,189	»	4,02	0,402	
200 000	3560	2080	0,127	»	3,96	0,792	
300 000	5360	2370	0,112	»	3,94	1,182	
400 000	7140	2310	0,124	»	3,95	1,580	
500 000	8920	2053	0,129	»	3,96	1,980	
600 000	10720	1660	0,16	»	3,99	2,394	
700 000	12300	1275	0,208	»	4,04	2,898	
800 000	14300	795	0,334	»	4,16	3,328	
900 000	16060	365	0,73	»	4,56	4,104	
1 000 000	17850	106	2,5	»	6,33	6,330	

TABLEAU II

Φ_i	Φ_c	Φ_p	$\mathfrak{B}_i$	$\mathfrak{B}_c$	$\mathfrak{B}_p$	ν_i	μ_c	μ_p	r_i	r_c	r_p	$\Phi_i r_i$	$\Phi_c r_c$	$\Phi_p r_p$	$\Sigma \Phi r_{icp}$
									$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-3}$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	
800 000	571 000	515 000	7030	3170	2110	2320	850	680	0,0608	0,131	0,077	0,048	0,075	0,04	$0,163 \times 10^3$
1 000 000	715 000	645 000	8810	3960	2640	2080	800	780	0,068	0,139	0,067	0,068	0,100	0,0435	0,211
1 200 000	858 000	775 000	10560	4730	3170	1700	565	850	0,083	0,193	0,062	0,100	0,165	0,048	0,313
1 400 000	1 000 000	903 000	12320	5560	3700	1275	365	860	0,111	0,305	0,061	0,156	0,305	0,055	0,516
1 600 000	1 145 000	1 030 000	14060	6330	4210	850	235	730	0,166	0,473	0,072	0,265	0,54	0,074	0,875
1 700 000	1 215 000	1 087 000	15000	6720	4450	625	190	660	0,226	0,585	0,080	0,382	0,71	0,087	1,179
1 800 000	1 286 000	1 162 000	15840	7140	4760	422	155	565	0,335	0,72	0,093	0,602	0,925	0,108	1,635
2 000 000	1 430 000	1 290 000	17600	7950	5280	132	100	430	1,07	1,112	0,121	2,13	1,59	0,156	3,876

3° Une courbe C (fig. 3), donnant les f.m.m. totales absorbées par tout le circuit magnétique, c'est-à-dire donnant :

$$\Phi_a (r_a + r_e) + \Phi_i r_i + \Phi_c r_c + \Phi_p r_p, \quad \text{ou} \quad \Sigma \Phi r$$

dans l'hypothèse où

$$\Phi_a = \frac{\Phi_i}{2,14},$$

ce qui est sensiblement vrai à circuit extérieur ouvert. Cette dernière courbe ne peut donc servir exactement que dans le cas particulier ou le coefficient de flux total *v* est égal à 2,14.

VOLTAGE A CIRCUIT EXTÉRIEUR OUVERT

Déterminons le flux utile de l'armature, à circuit extérieur ouvert, et pour cela appliquons la formule bien connue.

$$4\pi n i = \Sigma \Phi r. \qquad (1$$

Il y a 1830 spires par électro. Ceux-ci étant montés en dérivation sur le circuit magnétique, *n* est bien égal à 1 830.

Si $\mathcal{E}$ est le voltage à circuit ouvert, R la résistance des électros, c'est-à-dire 17,7 ohms, *r* la résistance de l'induit ou 0,125 ohm à 15 degrés centigrades :

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R + r} = \frac{\mathcal{E}}{17,825 \times 10^9}.$$

Digitized by Google

Or, d'après une formule également connue

$$\mathcal{E} = \Phi_a n' N. \qquad (2)$$

Dans cette relation, Φ_a est le flux dans l'armature, n' est le nombre de fils à la périphérie de l'anneau, N est la vitesse en tours par seconde:

$$n' = 264 \qquad \text{et} \qquad N = \frac{1800}{60} = 30;$$

on a donc :

$$i = \Phi_a \frac{264 \times 30}{17{,}825 \times 10^9} = 4{,}46 \times 10^{-7} \Phi_a,$$

$$4\pi n i = 12{,}50 \times 1830 \times 4{,}46 \times 10^{-7} \Phi_a = \Sigma \Phi r.$$

ou

$$1{,}03 \times 10^{-2} \Phi_a = \Sigma \Phi r.$$

Nous avons la courbe C (fig. 3) des $\Sigma \Phi r$ en fonction de Φ_a ou Φ_u. Nous pouvons donc, pour déterminer la valeur de Φ_a, correspon-

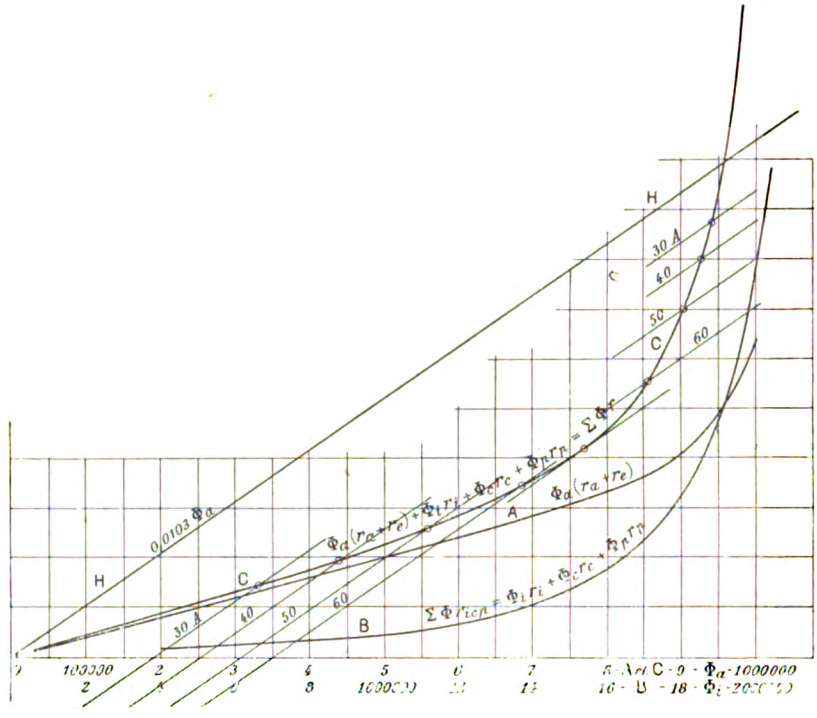


Fig. 3. — Courbes A, B et C des f. m. m. effectives. Droites diverses pour la résolution de l'équation (13).

dant à une valeur déterminée de $\Sigma \Phi r$, ou réciproquement, opérer par tâtonnements : c'est-à-dire, nous donner des flux Φ_a, déterminer la valeur du premier membre, et comparer avec la valeur de $\Sigma \Phi r$ que donne la courbe. Plus simplement : les valeurs concordantes sont évidemment les valeurs simultanées de la droite

$$1{,}03 \times 10^{-2} \Phi_a$$

et de la courbe

$$\Sigma \Phi r.$$

La droite H, (fig. 3), a pour équation

$$H = 1{,}03 \times 10^{-2} \Phi_a;$$

son intersection avec la courbe C donne le flux cherché.

Nous trouvons ainsi :

$$\Phi_a = 958\,000.$$

Nous avons négligé la faible réaction d'induit due au courant d'excitation parce que son influence est très faible.

Nous avons les données nécessaires pour calculer $\mathcal{E}$ à circuit ouvert.

Nous obtenons :

$$\mathcal{E} = \Phi_a n' N = 7{,}92 . 10^3 \Phi_a = 75{,}8 \text{ volts.}$$

Digitized by Google

L'expérience nous a donné 75 à 75.5 volts, à 1 800 tours par minute.

VOLTAGE SOUS DIFFÉRENTS DÉBITS

Soit $\mathfrak{I}$ le courant total dans l'induit. La différence D, de potentiel aux bornes, est exprimée par la relation

$$D = \mathfrak{E} - \mathfrak{I}r.$$

et le courant inducteur par

$$i = \frac{\mathfrak{E} - \mathfrak{I}r}{R}.$$

Or, nous venons de trouver

$$\mathfrak{E} = \Phi_a \times 7{,}92 \times 10^8.$$

La f.m.m. des inducteurs peut donc s'exprimer comme suit, r étant supposé égal à 0,13 ohm au lieu de 0,1245 pour tenir compte de l'échauffement :

$$4\pi ni = 4\pi n \frac{\mathfrak{E} - \mathfrak{I}r}{R} =$$

$$\frac{12{,}56 \times 18{,}0 \left(7{,}92.10^8.\Phi_a - \mathfrak{I} \times 0.13 \times 10^9\right)}{17{,}7 \times 10^9}$$

$$= 0{,}0103\,\Phi_a - 169\,\mathfrak{I}. \qquad (3)$$

RÉACTION D'INDUIT

Il s'agit maintenant de tenir compte de la réaction d'induit.

Trois f.m.m. (v. fig. 4), agissent dans l'anneau : 1° la partie $\mathfrak{F}$ de la f.m.m. due aux inducteurs et appliquée aux pôles ;

2° La f.m.m. effective F absorbée par la réluctance de l'anneau et de l'entrefer ;

3° La f.m.m. F′ due au courant induit et normale à la seconde, puisque les f.é.m. induites sont en retard de 90° sur le flux utile.

La f.m.m. F, résultante des deux autres, est donc l'un des côtés de l'angle droit d'un triangle rectangle dont les deux autres côtés représentent les deux autres f.m.m. précitées.

Déterminons F′. n' étant le nombre de tours périphériques sur l'anneau, $\frac{n'}{2}$ est le nombre de tours de fil entourant tout l'induit. Ces $\frac{n'}{2}$ spires ont des f.m.m. égales, dont les actions dans le sens de F′ sont seulement proportionnelles aux sinus des angles qu'elles font chacune avec F′, leurs actions perpendiculaires à cette dernière direction s'annulant deux à deux.

La f.m.m. F′ est donc proportionnelle à une somme de sinus et égale au produit, par le nombre des spires magnéto-motrices, de l'action moyenne d'une spire ; celle-ci est proportionnelle à :

$$\frac{1}{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin\alpha\, d\alpha = 0{,}637.$$

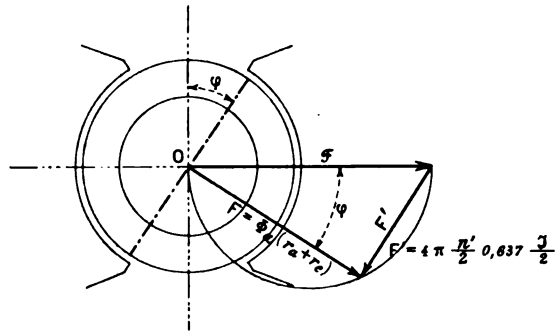


Fig. 4. — Composition des f. m. m. à l'induit.

Le courant dans le fil de l'armature étant de $\frac{\mathfrak{I}}{2}$, la f. m. m. F′ est :

$$4\pi \frac{n'}{2} 0{,}637 \frac{\mathfrak{I}}{2} = \pi n' 0{,}637\,\mathfrak{I} \qquad (4)$$

où

$$n' = 164.$$

La relation (4) donne ainsi

$$F' = 528\,\mathfrak{I} = 0{,}528 \times 10^3\,\mathfrak{I}.$$

Pour des courants variés nous trouvons :

Pour	$\mathfrak{I} = 20$ A ou 2 C. G. S.	$F' = 1{,}056 \times 10^3$
	30	1,584
	40	2,112
	50	2,64
	60	3,168
	70	3,696

Quant à la valeur de $\mathfrak{F}$, différence de potentiel magnétique aux pôles, ou f.m.m. due aux inducteurs, la figure 4 nous la donne par la résolution du triangle rectangle :

$$\mathfrak{F} = \sqrt{F^2 + F'^2} =$$

$$\sqrt{\Phi_a^2 \left(r_a + r_e\right)^2 + 0{,}278.10^6.\,\mathfrak{I}^2}. \qquad (5)$$

Digitized by Google

La formule finale, donnant l'égalité entre la f. m. m. totale produite aux inducteurs et la somme des f. m. m. effectives de réluctance et de réaction d'induit est donc :

$$4\pi ni \text{ ou } 0{,}0103\,\Phi_a - 169\,\mathfrak{I} = \sqrt{\Phi_a^2\left(r_a + r_e\right)^2 + 0{,}278.10^6\,\mathfrak{I}^2} + \Sigma\Phi r_{icp} \qquad (6)$$

ou, plus simplement :

$$0{,}0103\,\Phi_a - 169\,\mathfrak{I} = \mathfrak{F} + \Sigma\Phi r_{icp}. \qquad (7)$$

Dans cette formule, $\mathfrak{I}$ seul sera connu puisque nous allons nous donner les débits ; Φ_a, r_a, $\Sigma\Phi r_{cip}$ seront toutes inconnues et nous devrons opérer par tâtonnements. Ces tâtonnements consisteront en ceci.

Nous nous donnons une courbe des flux utiles Φ_a en fonction du courant total, partant du flux à circuit extérieur ouvert, 958 000. Cette courbe indique certain flux pour le courant proposé, donc les termes

$$0.0103\,\Phi_a \qquad \text{et} \qquad \Phi_a\left(r_a + r_e\right)$$

de l'équation (6).

Les facteurs 169 $\mathfrak{I}$ et $0{,}278.10^2\,\mathfrak{I}^2$ sont connus aussi et le calcul de

$$\sqrt{\Phi_a^2\left(r_a + r_e\right)^2 + 0{,}278.10^6.\mathfrak{I}^2}$$

ou $\mathfrak{F}$ est chose facile. Dans la formule (7) nous pouvons maintenant déterminer $\Sigma\Phi_{icp}$ par soustraction, qui donne le flux Φ_i au moyen de la courbe B (des $\Sigma\Phi r_{icp}$) de la figure 4.

Si nous connaissons alors la réluctance moyenne des dérivations de pertes de flux r_p, il suffit de diviser la f. m. m. $\mathfrak{F}$ appliquée aux pôles par cette valeur pour obtenir le flux perdu Φ_p.

La différence $\Phi_i - \Phi_p$ nous fixera sur ce premier tâtonnement. Si

$$\Phi_i - \Phi_p = \Phi_a,$$

cette dernière valeur est bonne ; si

$$\Phi_i - \Phi_p > \Phi_a,$$

Φ_a choisi est trop faible ; si

$$\Phi_i - \Phi_p < \Phi_a,$$

cette dernière valeur est trop forte.

Pour réduire les recherches, on peut, pour chaque valeur cherchée de Φ_a, construire une courbe des $\Phi_i - \Phi_p$ et la droite des Φ_a que l'on se donne (voir fig. 5) ; le ou les points d'intersection indiquent les flux satisfaisant à la relation (7). Quand on connaît l'allure de la courbe des $\Phi_i - \Phi_p$, deux de ses points bien choisis suffisent souvent pour trouver un point d'intersection convenable.

Le deuxième point de la courbe des flux Φ_a étant obtenu, on la prolonge jusqu'à l'ordonnée du troisième que l'on a ainsi approximativement et pour lequel on opère comme ci-dessus.

La valeur moyenne de la réluctance des dérivations de pertes de flux est facile à établir.

RÉLUCTANCE MOYENNE DES DÉRIVATIONS DE PERTES DE FLUX

Φ_p étant le flux perdu, supposé dérivé entièrement aux pièces polaires, et v étant égal à $\frac{\Phi_i}{\Phi_u}$, rapport du flux total au flux utile, on a :

$$\frac{\Phi_i}{\Phi_u} = \frac{\text{conductibilité totale aux pièces polaires}}{\text{conductibilité de l'induit et de l'entrefer}} = \frac{\frac{1}{\frac{r_p r_u}{r_p + r_u}}}{\frac{1}{r_u}}$$

$$= \frac{\left(r_u + r_p\right) r_u}{r_u r_p} = \frac{r_u + r_p}{r_p} = v. \qquad (8)$$

Or,

$$r_u = r_a + r_e;$$

à circuits ouverts,

$$\Phi_u = 958\,000$$

et

$$\Phi_a\left(r_a + r_e\right) = 5{,}13 \times 10^3$$

(d'après la courbe A de la fig. 3),

$$r_u = \left(r_a + r_e\right) = \frac{\Phi_a\left(r_a + r_e\right)}{\Phi_a} = \frac{5{,}13 \times 10^3}{958\,000} = 5{,}37 \times 10^{-3}.$$

La relation (8) devient :

$$\frac{5{,}37 \times 10^{-3} + r_p}{r_p} = v \text{ ou } 2{,}14,$$

d'où

$$r_p = \frac{5{,}37 \times 10^3}{5{,}14} = 4{,}72 \times 10^{-3}.$$

Digitized by Google

Nous adopterons $4,72 \times 10^{-3}$ pour réluctance des dérivations de pertes.

Correction à l'équation (6). — La relation (6) appelle une correction qui a son importance.

A circuit extérieur ouvert, il est évident que les pertes de flux à l'induit lui-même sont réduites et qu'elles sont concentrées aux pièces polaires et aux culasses. Quand la f. m. m. $\mathfrak{F}$ appliquée aux pôles augmente, on peut admettre que les pertes aux pièces polaires et aux culasses varient proportionnellement à cette valeur et qu'elles sont exprimées par $\frac{\mathfrak{F}}{r_p}$. Mais il est une autre perte qui n'est pas comptée dans les premières; c'est celle que donne la f.c.m.m. de l'enroulement induit, f.c.m.m. qui, tout en se transmettant aux pôles, a surtout pour effet de refouler, par l'intérieur de l'anneau, un flux qui peut devenir important.

Si nous négligeons les pertes par les faces latérales et l'extérieur, et si $r_{p'}$ est la réluctance de l'intérieur en tenant compte de la présence de l'arbre en fer, on peut écrire que le flux perdu par l'intérieur $\Phi_{p'}$ est sensiblement :

$$\Phi_{p'} = \frac{F'}{r_{p'}} = \frac{4\pi \frac{n'}{2} 0,637 \frac{\mathfrak{J}}{2}}{r_{p'}} = \frac{528\,\mathfrak{J}}{r_{p'}}.$$

Nous trouvons approximativement pour $r_{p'}$, en considérant des dimensions moyennes sur les figures à l'échelle,

$$r_{p'} = \frac{8}{12 \times 20} = \frac{1}{30},$$

adoptons cette valeur et donnons-nous des courants I variables, nous avons :

Pour $\mathfrak{J} =$	20 A ou 2 C. G. S.	$\Phi_{p'} = 3,17 \times 10^4$
	30	4,75
	40	6,32
	50	7,93
	60	9,5
	70	1,1

Ce flux $\Phi_{p'}$, quoique passant dans l'entrefer, est bien perdu pour la f.é.m. totale produite, car il donne dans le fil mort une f.c.é.m. égale à la f.é.m. qui a pris naissance dans l'entrefer. Le flux utile réel n'est donc pas Φ_a tel que nous l'avons considéré, mais bien

$$\Phi_u = \Phi_a - \Phi_{p'}.$$

Les formules (3) et (6) deviennent ainsi :

$$4\pi ni = 0,0103\,\Phi_a - 0,0103\,\Phi_{p'} - 169\,\mathfrak{J}, \qquad (9)$$

$$4\pi ni = 0,0103\,\Phi_a - 0,0103\,\frac{528\,\mathfrak{J}}{r_{p'}} - 169\,\mathfrak{J}$$

$$= 0,0103\,\Phi_a - 332\,\mathfrak{J}, \qquad (10)$$

$$0,0103\left(\Phi_a - \Phi_{p'}\right) - 169\,\mathfrak{J} =$$

$$\sqrt{\Phi_a^2\,(r_a + r_e)^2 + 0,278.10^6.\mathfrak{J}^2} + \Sigma\,\Phi r_{icp}, \qquad (11)$$

$$0,0103\,\Phi_a - 332\,\mathfrak{J} = \mathfrak{F} + \Sigma\,\Phi r_{icp}. \qquad (12)$$

Pour faciliter les calculs, donnons-nous différentes valeurs du courant induit $\mathfrak{J}$ et calculons les valeurs correspondantes de $169\,\mathfrak{J}$, de $332\,\mathfrak{J}$ et de $0,278.10^6.\mathfrak{J}^2$, nous obtenons :

$\mathfrak{J} =$	20 ou 2 C.G.S.	30	40	50	60	70
$169\,\mathfrak{J} =$	338	507	676	845	1012	1180
$332\,\mathfrak{J} =$	663	996	1326	1660	1990	2320
$0,278.10^6.\mathfrak{J}^2 =$	$1,112.10^6$	$2,5.10^6$	$4,18.10^6$	$6,96.10^6$	10.10^6	$13,66.10^6$

Nous ne donnerons pas d'exemple des tâtonnements à faire pour arriver à la solution du problème parce qu'ils sont très faciles. Nous ne dessinerons pas non plus toutes les courbes qui ont abrégé nos calculs. On en voit un exemple à la figure 5.

On trouvera dans le tableau de la page 488 le résumé des opérations faites et un modèle à suivre pour la pratique.

Dans ce tableau :

$\mathcal{E}$ est la f.é.m. totale ; $\mathcal{E}'$ la f.é,m. aux bornes ; $\mathfrak{J}r$ la perte ohmique dans l'induit ; i le courant d'excitation ; $\mathfrak{J}$ le courant total ; $\mathfrak{J}'$ le courant dans le circuit extérieur ; φ l'angle calculé de calage des balais obtenu par la relation

Digitized by Google

$\mathfrak{I}$	F'	$\Phi_{p'}$	F'²	169 $\mathfrak{I}$	332 $\mathfrak{I}$	Φ_a proposé	$\frac{\Phi_a}{(r_a + r_a)}$ ou F	F²	$\mathfrak{F}$	Φ_p	$\Sigma\Phi r_{icp}$	$\Phi_{\mathfrak{f}}$	$\Phi_i - \Phi_a$	Φ_a admis.	$\Phi_u = \Phi_a - \Phi_{p'}$ flux utile.	$\mathfrak{S}$	$\mathfrak{I}r$	$\mathfrak{S}'$ aux bornes.	i	$\mathfrak{I}'$ courant extérieur.	tg φ	φ	$\nu' = \frac{\Phi_i}{\Phi_a}$	$\nu = \frac{\Phi_i}{\Phi_u}$	R' extérieur.	OBSERVATIONS
																									ohms	
30 A. . .	1,584.10³	4,75.10⁴	2,5.10⁶	507	996	950 000	4,95.10³	24,5.10⁶	5,2 .10³	1 104 000	3,593.10³	1 985 000	881 000													
3 C.G.S.	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	938 000	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	938 000	891 000	70,6	3,9	**66,7**	3,75	**26,25**	0,342	18°45′	2,14	2,23	2,54	
						936 000	4,65	21,6	4,91	1 042 000	3,733	1 990 000	948 000													
						900 000	4,1	16,8	4,4	933 000	3,893	2 000 000	1 067 000													
						315 000	1,25	1,56	2,015	428 000	2,38	1 060 000	630 000													
						308 000	1,2	1,44	1,985	421 000	1,88	920 000	500 000													
						302 000	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	728 000	. . . .	302 000	255 000	21		**17**	1	**29**	1,355	53°35′	2,40	2,86	0,58	
						300 000	1,18	1,4	1,975	419 000	1,28	620	200 000													
40 A. . .	2,112.10³	6,32.10⁴	4.18	676	1 326	950 000	4,95.10³	24,5.10⁶	5,36.10³	1 135 000	3,084.10³	1 930 000	795 000													
						922 000	4,38	19,2	4,86	1 030 000	3,314	1 971 000	941 000													
4 C.G.S.	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	925 000	862 000	68,6	5,3	**62,9**	3,54	**36,46**	0,48	25°40′	2,14	2,285	1,73	
						900 000	4,1	16,8	4,58	972 000	3,354	1 975 000	1 003 000													
						400 000	1,585	2,52	2,59	550 000	2,09	980 000	430 000													
												946 000	. . . .	399 000	336 000	26,3	5,3	**21**	1,2	**38,8**	1,328	53°2′	2,37	2,82	0,54	
						395 000	1,575	2,48	2,58	547 500	1,64	800 000	253 500													
50 A. . .	2,64	7,93	6,96	845	1 660	950 000	4,95	24,5	5,615	1 190 000	2,520	1 910 000	720 000													
5 C.G.S.	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	902 000	823 000	65	6,5	**58,5**	3,3	**46,7**	0,647	32°55′	2,16	2,36	1,26	
						900 000	4,1	16,8	4,88	1 036 000	2,735	1 940 000	904 000													
						600 000	2,4	5,77	3,57	758 000	0,955	1 620 000	860 000													
						550 000	2,2	4,83	3,43	728 060	0,575	1 440 000	710 000													
														522 000	443 000	35		**28,5**	1,6	**48,4**	1,26	51°35′	2,37	2,86	0,59	
						520 000	2,07	4,28	3,35	710 000	0,355	1 255 000	545 000													
						500 000	1,98	3,92	3,30	701 000	0,195	960 000	260 000													
60 A. . .	3,168	9,5	10	1 012	1 990	850 000	3,63	13,18	4,82	1 020 000	1,713	1 818 000	798 000													
6 C.G.S.	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	818 000	723 000	57,2	8	**49,2**	2,78	**57,2**	0,932	42°59′	2,21	2,59	0,866	
						800 000	3,32	11,0	4,58	970 000	1,658	1 805 000	835 000													
						700 000	2,84	8,06	4,25	900 000	0,968	1 630 000	730 000													
														694 000	600 000	47,5		**39,5**	2,23	**57,8**	1,11	48°	2,31	2,72	0,685	
						600 000	2,4	5,77	3,97	840 000	0,218	1 000 000	160 000													

Certaines valeurs ne donnent pas des courbes absolument régulières parce que nous avons pris des moyennes en tâtonnant et parce que les calculs sont entachés à la règle.

Digitized by Google

$\operatorname{tg}\varphi = \frac{F'}{F}$; v le coefficient de flux total, rapport

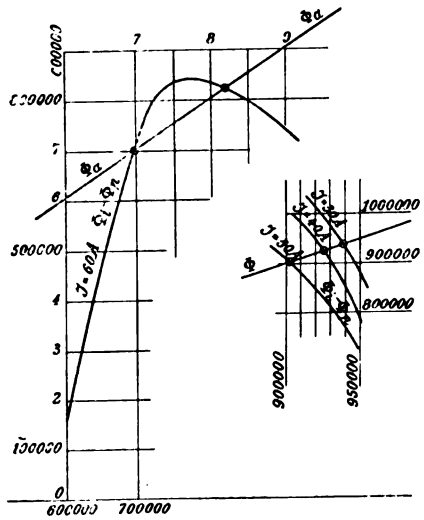


Fig. 5. — Diverses courbes pour la résolution de l'équation (6).

$\frac{\Phi_i}{\Phi_u}$; v' le coefficient de flux total rapporté au flux Φ_a dans l'entrefer et non au flux Φ_u dans la section utile de l'anneau $\left(\text{rapport } \frac{\Phi_i}{\Phi_a}\right)$, Φ_u étant égal à $\Phi_a - \Phi_{\nu'}$) ; enfin, R′ la résistance du circuit extérieur établie par la formule

$$R' = \frac{\mathfrak{E}'}{\mathfrak{I}'}$$

Les résultats du tableau sont traduits graphiquement par les diagrammes de la figure 6 où la courbe *abcde* est la caractéristique externe calculée.

Correction relative à l'angle de calage des balais. — Si l'on admet que la ligne neutre est sous les balais, lorsque l'angle de calage atteint certaine valeur, l'angle utile des épanouissements polaires, par lequel le flux utile passe, est réduit et la réluctance de l'entrefer est augmentée. Cela a lieu lorsque la ligne neutre atteint l'entrefer. Voyons la correction du voltage pour un courant induit $\mathfrak{I}$ de 40 ampères.

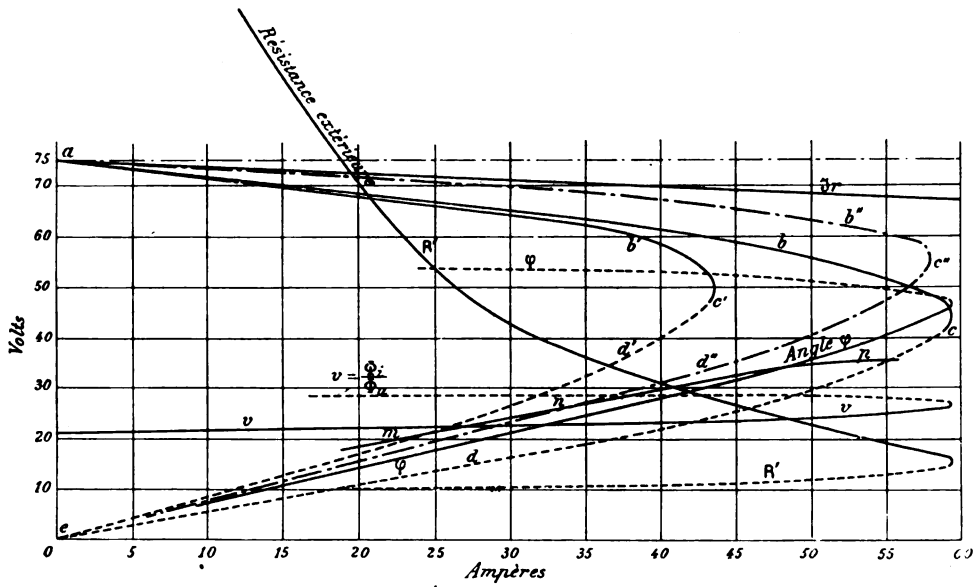


Fig. 6. — Caractéristiques externes calculées et levée.
Courbes des coefficients v, des angles de calage φ et des résistances extérieures R′.

Nous avons vu que pour ce débit $\varphi = 25°$.

L'angle des épanouissements étant de 142°, l'angle utile actuel est :

$$142 + \frac{180 - 142}{2} - 25 = 136°.$$

La résistance de l'entrefer devient :

$$\frac{3{,}83 \times 10^{-3} \times 142}{136} = 4 \times 10^{-3}.$$

En continuant les calculs nous trouvons

$\Phi_u = 920\,000$, $\mathfrak{E} = 67{,}7$ volts et $\mathfrak{E}' = 62{,}4$.

Digitized by Google

Le tableau indiquant 62,9 volts aux bornes, on voit que la correction, pour 40 ampères, est insignifiante.

APPLICATION D'UNE MÉTHODE GRAPHIQUE A LA PRÉDÉTERMINATION DE LA CARACTÉRISTIQUE D'UNE DYNAMO EXCITÉE EN SHUNT

Nous nous proposons dans ce paragraphe de rechercher la caractéristique externe par une méthode graphique, d'en montrer la forme ordinaire, d'indiquer comment le rebroussement se produit et à quelles conditions il répond. Nous appliquerons d'abord l'ancienne formule relative au calcul des dynamos, puis la nôtre.

Application de l'ancienne formule. — On connaît cette relation qui tient compte seulement de la f.m.m. antagoniste de l'enroulement de l'induit :

$$4\pi\left(ni - \frac{\varphi}{180}\, n' \frac{\mathfrak{I}}{2}\right) = \Sigma\, \varphi r.$$

En exprimant i en fonction de Φ_a (voir formule (3), nous trouvons :

$$0{,}0103\, \Phi_a - 169\, \mathfrak{I} - 9{,}25\, \varphi\, \mathfrak{I} = \Sigma \Phi r,$$

ou encore

$$0{,}0103\, \Phi_a - (169 + 9{,}25\, \varphi)\, \mathfrak{I} = \Sigma\, \Phi r. \qquad (13)$$

La solution graphique de cette équation est très facile. Nous possédons une courbe (C, fig. 3) donnant les valeurs de $\Sigma \Phi r$ pour des flux utiles Φ_a variables, établie dans l'hypothèse où le coefficient de flux total v est invariable, ce que l'on a admis jusque maintenant dans les applications.

Le premier membre de l'équation est représenté par une droite.

Le ou les points d'intersection de la droite avec la courbe donneront des flux Φ_a satisfaisant l'équation (13).

Les valeurs de $0{,}0103\ \Phi_a$ sont déjà données par la droite H de la figure 3, partant de l'origine. Donnons-nous des valeurs de $\mathfrak{I}$, empruntons à notre figure 6 les valeurs de φ et nous pourrons tracer des parallèles à H, à des distances $(169 + 9{,}25\ \varphi)\ \mathfrak{I}$ en dessous de cette dernière. Coupant l'axe des abscisses, ces droites couperont en général deux fois la courbe C. Les points d'intersection trouvés de cette façon donneront les flux utiles. Quant à la droite parallèle à H et tangente à C, elle indique le flux correspondant au rebroussement de la caractéristique.

La figure 3 et le tableau IV renseignent complètement sur les opérations effectuées et les résultats obtenus. Les droites (fig. 3) représentant le premier membre de la formule (13) sont désignées par les courants $\mathfrak{I}$ correspondant.

TABLEAU IV

$\mathfrak{I}$	φ	$(169 + 9{,}25\,\varphi)\,\mathfrak{I}$	Φ_a	$\mathfrak{E}$	$\mathfrak{I}r$	$\mathfrak{E}'$	i	$\mathfrak{I}'$
30 A ou 3 C.G.S.	18°45′	1025	940 000	74,2	3,9	70,3	4	26
40	25°40′	1620	928 000	73,2	5,3	67,9	3,8	36,2
50	32°55′	2370	907 000	71,5	6,5	65	3,7	46,3
60	42°59′	3400	855 000	67,5	8	59,5	3,4	56,6
			770 000	61,7		53,7		
60	48°	3680	690 000	54,5	8	46,5	2,6	57,4
50	51°35	3220	562 000	44,2	6,5	37,7	2,1	47,9
40	53°2′	2630	445 000	35,1	5,3	29,8	1,7	38,3
30	53°35	1990	333 000	26,3	3,9	22,4	1,3	28,7

Nous avons tracé la caractéristique externe $ab''c''d''e$ de la figure 6 au moyen des données du tableau ci-dessus. On voit que cette courbe est sensiblement plus élevée que celle $abcde$ calculée par notre méthode. Dans la méthode ordinaire on ne tient pas compte en effet de la variation du coefficient de flux total v ni de la perte spéciale de flux par l'intérieur de l'in-

Digitized by Google

duit ni des variations de φ. Si nous avons pu considérer des angles φ différant entre eux c'est grâce à nos calculs précédents.

Application de notre formule. — Cette formule est notre relation (12) établie précédemment :

$$0{,}0103\,\Phi_a - 3{,}2\,\mathfrak{J} = \sqrt{\Phi_a^2\,(r_a + r_a)^2 + 0{,}278.10^6\,\mathfrak{J}^2} + \Sigma\Phi r_{ic_p}.$$

La résolution graphique en est moins commode quand on veut déterminer beaucoup de points avec précision. Le calcul que nous avons indiqué précédemment est même seul exact.

Avec une approximation suffisante, nous pouvons cependant employer la méthode graphique. Remarquons que v est environ 2,3 pour la première branche de la courbe et 2,85 pour la seconde. En nous donnant des courants $\mathfrak{J}$ et en tenant compte des valeurs de v, nous pouvons tracer les courbes du second membre de l'équation (12), les droites du premier et par conséquent déterminer les flux Φ_a des différents régimes. Le problème sera simplifié si l'on veut calculer seulement le régime de marche normale.

Nous avons cru utile de donner la méthode graphique qui précède parce qu'elle convient très bien à l'application de l'ancienne façon de calculer les flux utiles des dynamos.

De plus, elle montre très simplement qu'à chaque courant induit correspondent deux voltages différents et à quel point se produit le retour de la caractéristique vers l'origine.

Formule générale. — La formule générale (12) applicable aux machines shunt, en attribuant aux lettres les significations connues, est :

$$4\pi nn'N\Phi_a - \frac{4\pi^2 nn'^2 N\ 0{,}617\ \mathfrak{J}}{Rr_{p'}} - \frac{4\pi n\mathfrak{J}r}{R} = \sqrt{\Phi_a^2\,(r_a + r_e)^2 + 0{,}278.10^6.\,\mathfrak{J}^2 + \Phi_i\,r_i + \Phi_e\,r_e + \Phi_p\,r_p} \quad (14)$$

VÉRIFICATIONS EXPÉRIMENTALES

Caractéristique externe. — La caractéristique qui porte les lettres $ab'c'd'e$ a été obtenue il y a quelques jours en plaçant pour chaque point les balais au minimum d'étincelles. On voit que les différences avec la caractéristique calculée sont très faibles pour tous les régimes pratiques de la dynamo, c'est-à-dire avant le coude.

Si le coude est plus rapproché de l'origine dans la caractéristique pratique, cela est dû à ce que, vers 45 ampères environ, l'avance très forte donnée aux balais pour supprimer les étincelles, avance que le calcul ne peut évaluer sérieusement, fait tomber le voltage suffisamment pour précipiter la période de désarmorcement. En opérant avec précaution, on obtient du reste expérimentalement la caractéristique calculée abc, sans que les étincelles s'écartent sensiblement d'un minimum pour chaque point. Cette particularité de notre dynamo, de donner peu d'étincelles entre certaines limites, est due à la faible self-induction des sections de l'induit et à leur faible résistance.

La caractéristique $ab''c''d''e$ calculée par l'ancienne méthode s'écarte sensiblement des précédentes. L'écart serait bien plus prononcé encore si la variation des pertes de flux était plus grande, comme dans les dynamos à excitation indépendante et en série, par exemple (1).

Dans tous les diagrammes de la figure 6, les courbes pleines se rapportent à la région supérieure de la caractéristique, les courbes pointillées à la région inférieure.

Angle de calage φ. — L'angle de calage calculé varie d'abord presqu'uniformément avec le courant, puis il augmente plus vite et enfin reste stationnaire. Les points déterminés approximativement à l'essai donnent la courbe m,n,p, un peu différente de celle qui a été calculée. Il est à remarquer que le levé exact de la caractéristique vers le genou est excessivement difficile.

Résistance extérieure R'. — La courbe descend asymptotiquement de l'axe des ordonnées

(1) Voir notre précédent article relatif à une génératrice à courant diphasés, à excitation indépendante. *Eclairage Electrique*, n° 22.

Digitized by Google

vers l'axe des abscisses jusque 58 ampères, puis elle se replie, varie peu et tend vers une valeur constante qui est la résistance dite « critique ».

Coefficient de flux total v. — Nous l'avons trouvé égal à 2,14 à circuit ouvert. Le calcul conduit à une augmentation avec le débit. Le coefficient est aussi plus fort pour la seconde branche de la caractéristique, ce qui s'explique par l'influence plus grande des pertes de flux par l'intérieur de l'induit sur un flux inducteur total moindre.

En calant l'induit et en envoyant deux courants, l'un dans les inducteurs, l'autre dans l'induit, correspondant tous deux à un régime donné de la dynamo, nous avons pu déterminer approximativement les coefficient v et v' par la méthode balistique. Nous disons approximativement parce qu'il est toujours difficile, dans une dynamo industrielle ordinaire, de disposer des spires embrassant exactement les flux que l'on recherche. Nous avons tenu compte de l'angle de calage .

Nous avons trouvé ainsi, pour les régimes suivants :

63,4 volts, 35 ampères	$v = 2{,}26$,	$v' = 2{,}08$,
19 volts, 35 ampères	$v = 2{,}97$,	$v' = 2{,}11$ à $2{,}15$.

On voit que la concordance avec le calcul est suffisante pour les applications.

L'erreur sur v' au régime de 19 volts peut provenir en partie de ce que la spire qui indiquait le flux total dans l'induit (Φ_a) était trop large par suite de la disposition du bobinage.

SATURNIN HANAPPE.

SUR

LA TRANSMISSION ÉLECTRIQUE DE LA FORCE

POUR LES

APPLICATIONS MÉCANIQUES D'ATELIER

Avant de passer à la description de quelques types d'appareils, nous croyons qu'un des grands avantages des électromoteurs qu'il faut mettre en évidence auprès des industriels c'est la simplicité avec laquelle le rendement industriel de l'appareil vendu peut être contrôlé ; ce fait est de la plus grande importance dans les installations pour location de force motrice, par exemple.

La puissance utile d'un moteur à vapeur, à pétrole ou à gaz, à air, etc., ne peut être vérifiée que par un essai dynamométrique, soit au frein, soit au dynamomètre de transmission ; cet essai est toujours délicat et nécessite tout au moins une installation spéciale et un personnel habile.

Le rendement industriel d'un moteur électrique, au contraire, peut être vérifié pour une charge quelconque sous les yeux de l'acheteur sans autres mesures que celles de résistance, d'intensité et de différence de potentiel, au moins pour les moteurs à courant continu et avec une approximation certainement égale à celle obtenue avec les méthodes dynamométriques. Généralement les ouvrages spéciaux indiquent bien la détermination du rendement électrique, sans donner de détails précis sur aucune méthode pratique pour la détermination du rendement industriel.

A ce point de vue nous croyons utile de rappeler cette méthode que nous employons couramment et qui consiste à mesurer les résistances passives de l'électromoteur et à les ajouter aux pertes par effet Joule pour obtenir le total de la puissance absorbée perdue dans l'électromoteur.

Tout le monde sait que les pertes dans une dynamo, génératrice, ou réceptrice peuvent se répartir en deux catégories :

Les pertes par effet Joule ;

Les pertes par résistances passives.

Les pertes par résistances passives comprennent celles dues à la résistance de l'air, aux frottements de palier, à l'hystérésis et aux courants de Foucault.

Les pertes par effet Joule s'évaluent facilement connaissant les résistances des différentes parties de la machine,

Supposons, pour la simplicité, une dynamo

(1) Voy. l'*Eclairage Electrique* du 8 juin 1894, p. 440.

Digitized by Google

réceptrice dont le régime soit tel qu'à la vitesse V elle absorbe I ampères sous e volts, l'enroulement étant fait en shunt; soit

r_A, la résistance de l'induit,
r_d, — du shunt,

les pertes par effet Joule seront :
pour l'induit,

$$r_A \left(1 - \frac{e}{r_d}\right)^2 = w_A;$$

pour l'excitation,

$$r_d \times \left(\frac{e}{r_d}\right)^2 = \frac{e^2}{r_d} = w_i;$$

et le rendement électrique sera, comme l'on sait

$$\frac{eI - (w_A + w_i)}{eI} = \rho.$$

Les résistances peuvent être fournies par le constructeur ou mesurées en faisant passer successivement un courant dans l'induit, en prenant soin de l'empêcher de tourner, et dans les inducteurs et en notant l'intensité du courant et la perte de charge pour en déduire la résistance.

Il reste à évaluer les résistances passives. Il faut remarquer tout d'abord que les pertes par frottements de paliers et celles dues à la résistance de l'air sont indépendantes du fonctionnement électrique et ne dépendent que de l'état de mouvement de l'induit; elles seront donc les mêmes quelles que soient les conditions électriques réalisées dans la marche de la machine pour une même vitesse.

Les pertes par hystérésis et par courants de Foucault dépendent non seulement de la vitesse angulaire de la dynamo mais encore de la valeur du champ magnétique; ces pertes sont indépendantes de l'intensité du courant traversant l'induit. Il suffira donc, pour les évaluer, de faire tourner l'induit en réceptrice dans un champ d'intensité H égale à celle développée pendant le fonctionnement à la charge considérée et de mesurer la puissance fournie à l'induit pour vaincre toutes ces résistances sans aucune autre charge.

Si l'on a soin d'appliquer aux balais une différence de potentiel égale à la *force électromotrice totale* E engendrée dans le fonctionnement au régime considéré, il suffira de régler l'excitation de façon à obtenir pour l'induit la vitesse V du régime; on sera sûr, à ce moment d'avoir réalisé le champ H et on notera le courant i fourni à l'induit sous la différence de potentiel E : Le produit $Ei = w_{rp}$ représentera la puissance nécessaire pour vaincre l'ensemble des résistances passives mécaniques et électriques.

Pour déterminer la valeur de E qui n'est autre dans le cas d'une réceptrice que la force contre-électromotrice, on aura :

$$E = e - r_A \left(1 - \frac{e}{r}\right).$$

Il y a lieu de remarquer qu'il est inutile de se préoccuper de la valeur propre du courant d'excitation, dans cet essai, puisque la réalisation du champ H est conséquente à l'obtention de la vitesse V sous une différence de potentiel égale à E. Nous négligeons ici la perte de charge r dans l'induit due au courant i, car cette perte de charge est excessivement faible, i étant très petit, en général, ainsi que r_A; on peut donc pratiquement admettre que dans la mesure des résistances passives la valeur de E est égale à la force contre-électromotrice dans ce même essai.

En résumé pour mesurer w_{rp} il suffit d'exciter extérieurement les inducteurs et de faire tourner l'induit en réceptrice librement à la vitesse V en notant E et i.

L'essai est tout aussi simple pour un moteur en série ou en compound; le lecteur ferait facilement les modifications aux formules.

Le même procédé peut être appliqué, pour le rappeler en passant, à la détermination du rendement des génératrices en tenant compte que

$$E = e + \text{perte de charge dans l'induit},$$

et

$$I \text{ total} = I \text{ dans le circuit extérieur} + \frac{e}{r_d}.$$

Cette méthode appliquée journellement nous a toujours donné satisfaction par sa

Digitized by Google

rapidité et sa simplicité; sa précision a été maintes fois confirmée en reprenant les essais des électromoteurs soit au frein, soit par accouplement des génératrices avec une réceptrice tarée, soit par les méthodes compliquées de compensation avec machines auxiliaires; elle a été d'ailleurs admise par la Marine et l'Artillerie et avait été préconisée par le jury de l'Exposition de 1889. Les différences dans les

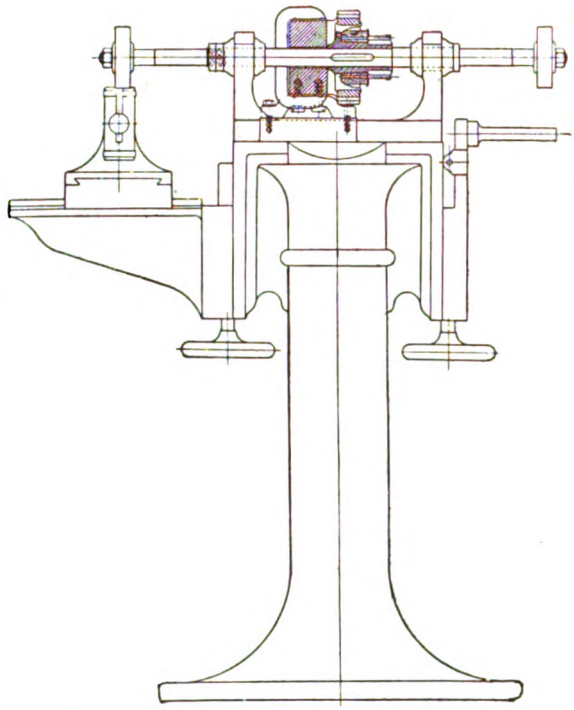


Fig. 2. — Meule double à commande directe.

rendements observés par ces différents procédés n'ont pas excédé ou même atteint 1 p. 100; c'est, à notre avis, tout ce que l'on peut attendre de mesures industrielles de ce genre.

Les exemples d'applications de moteurs électriques sont assez nombreux pour qu'il suffise de citer les principaux types : pour les machines d'atelier l'Allemagne tient certainement l'une des premières places; en France, les plus nombreuses applications se trouvent sur les bâtiments de la Marine de guerre et dans l'outillage des ports.

Pour les machines d'atelier les types se différencient particulièrement suivant le mode de liaison entre le moteur et l'outil.

La manière la plus simple de transmettre le mouvement consiste à réunir directement le moteur à l'arbre travaillant de la machine. Ce mode de montage n'est, en général, praticable que pour des outils à action continue et tour-

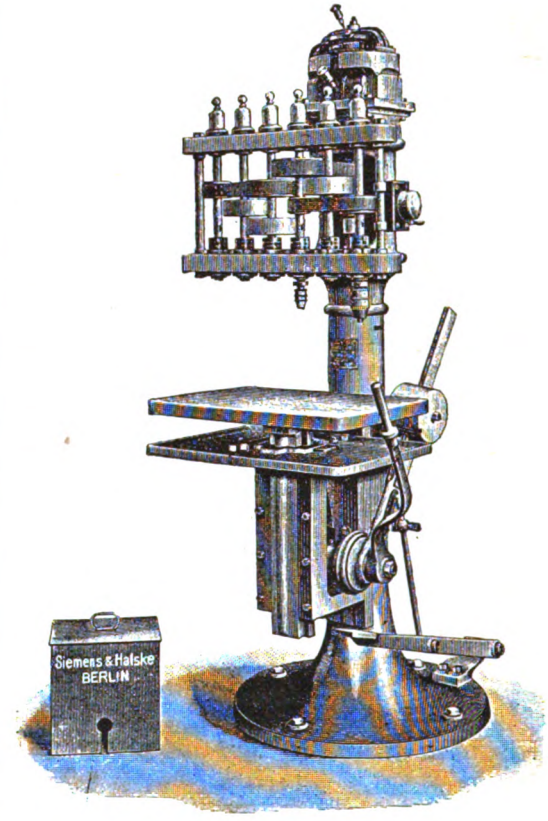


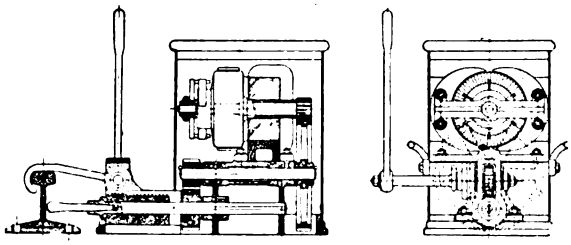
Fig. 3. — Machine à percer multiple.

nant à une vitesse angulaire élevée; telle est la meule double représentée schématiquement par la figure 2 construite par Siemens et Halske, de Berlin. L'induit est calé, sur l'arbre porte-meules; le bâti du moteur affecte la forme d'un simple fer à cheval et se trouve fixé sur la poupée de la machine entre les deux paliers. Les meules sont en porte à faux à droite et à gauche de la poupée.

La commande par cordes ne convient que pour de très petites puissances comme, par exemple, pour les machines à coudre et les

Digitized by Google

petits tours; l'interrupteur peut être maintenu fermé par la pression du pied sur une pédale.



Vue de profil. Vue de face.

Fig. 4. — Machine à percer pour rails.

C'est une disposition d'ailleurs très connue.

Les machines à travailler le bois qui utilisent des outils à grande vitesse peuvent être équipées avec moteurs à simple réduction de vitesse au moyen de courroies; le moteur peut

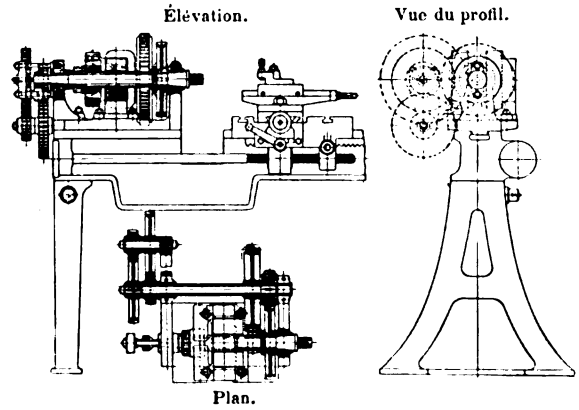


Fig. 5. — Banc de tour.

être réduit à un volume très restreint, car la

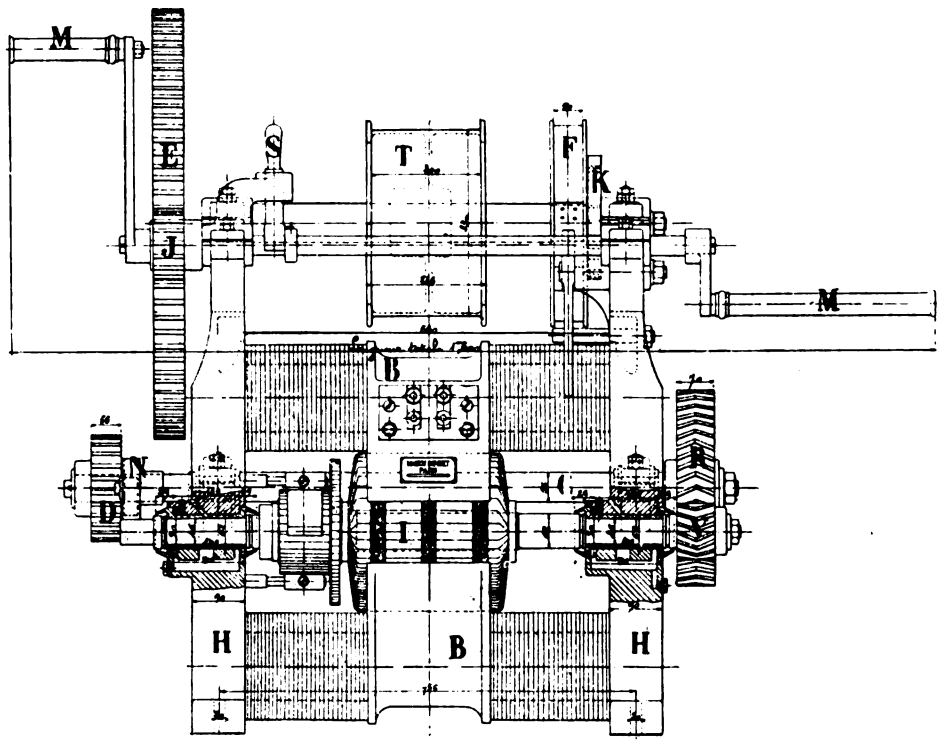


Fig. 6. — Treuil à engrenages. Vue de face.

puissance demandée est peu considérable. Dans la figure 3, nous voyons ainsi une machine des mêmes constructeurs que précédemment; c'est une perceuse multiple. Le moteur est fixé à la partie supérieure du bâti, l'arbre de l'induit étant vertical et reposant sur une crapaudine; cet arbre porte un long tambour a étages commandant chacun une broche de la perceuse. Le portage sur la crapaudine peut être soulagé en disposant le fer doux de l'in-

Digitized by Google

duit entre les masses polaires de façon qu'il soit attiré vers le haut dès que le moteur est excité. Ces machines à percer sont très employées dans les ateliers américains.

Parmi les appareils commandés par engrenages nous citerons tout d'abord une perceuse pour rails très originale, figure 4. La réduction de vitesse est obtenue au moyen de deux paires de roues dentées. L'arbre travaillant

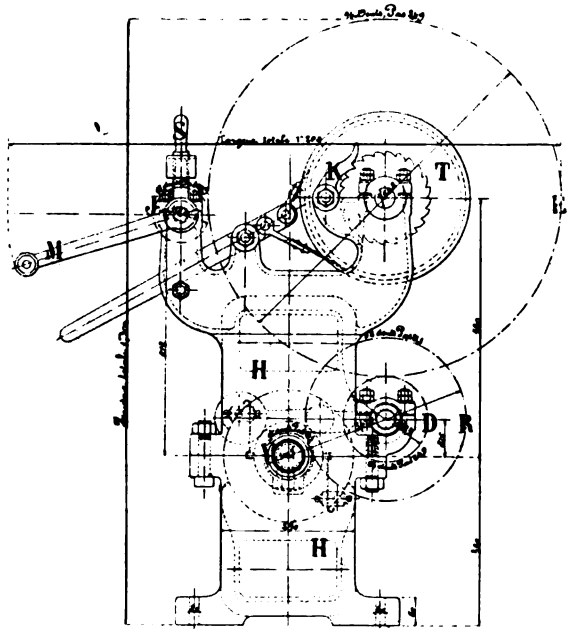


Fig. 7. — Treuil à engrenages. Vue de côté.

H, bâti; I, induit; V, R, premier renvoi (engrenages à chevrons); G, arbre intermédiaire; N, douille portant le pignon D; E, roue entraînant l'arbre du tambour T; K, cliquet de retenue; S, taquet d'embrayage de l'arbre à manivelle J; F, tambour de frein.

coulisse longitudinalement au moyen d'un levier actionné par l'ouvrier en déplaçant le porte-outil par un mouvement à crémaillère. Le point d'appui de la machine est obtenu par une griffe articulée sur l'axe du levier de manœuvre et qui saisit le rail à la partie supérieure. La machine repose sur le sol par son poids sans aucun mode de fixation, et le bâti sert en même temps de siège à l'ouvrier, tout en enfermant hermétiquement le moteur électrique.

La figure 5 montre l'application d'un moteur électrique à un banc de tour. Ici le moteur tient exactement la place de la poulie de commande ordinaire du tour; l'arbre est creux et laisse passer l'arbre principal de la poupée. Les autres organes sont ceux de la disposition ordinaire des tours dits à tête de cheval.

Les figures 6 et 7 donnent la disposition d'un des treuils à engrenages sur lesquels ont

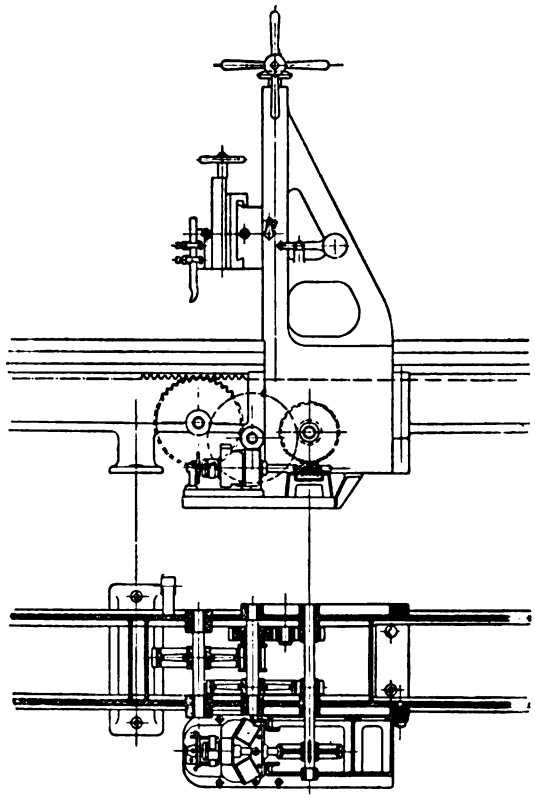


Fig. 8. — Raboteuse. Élévation. Plan.

été faits les essais de rendement cités plus haut. Ce treuil, de construction excessivement robuste, lève 500 kg. à une vitesse de 0 m.90 par seconde. Le poids de tout l'ensemble est d'environ 1 000 kg. L'électromoteur est formé d'un bâti type avec anneau Gramme.

Les flasques latérales du bâti sont munies de prolongements venus de fonte qui reçoivent l'arbre du tambour, l'articulation d'un levier de frein et l'arbre des manivelles.

Les engrenages sont disposés de façon à permettre le dégagement du tambour du treuil pour la manœuvre à bras. L'arbre du tambour

Digitized by Google

est muni d'un frein à bandes dont la manœuvre s'exécute par un levier et sert, pendant la descente, à éviter une accélération dangereuse.

Ce treuil, de composition très simple et solide, rendrait de grands services dans la construction des édifices pour le bardage des pierres, par exemple.

Pour une puissance nette de 450 kgm. il absorberait 58 A sous 105 volts environ.

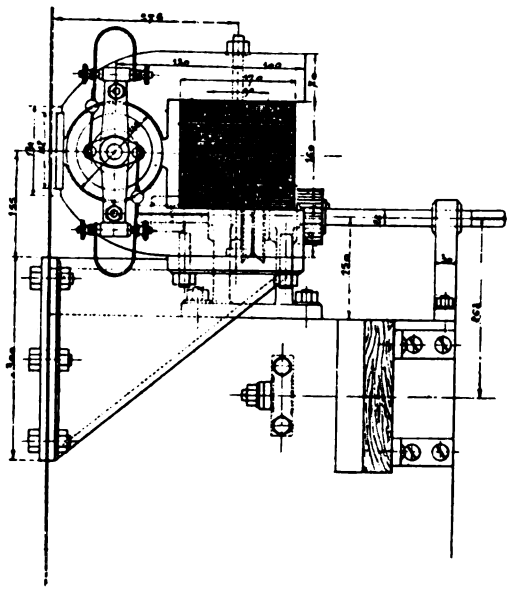


Fig. 9. — Treuil escarbilleur à arrêt automatique. (Maison Bréguet, constr.). Vue de profil.

La commande par vis sans fin s'impose lorsque le rapport de réduction est très élevé comme pour les raboteuses par exemple dont le mouvement de l'outil est très lent.

La figure 8 représente l'adaptation d'un moteur électrique à une raboteuse.

Le moteur électrique est à côté de la machine et porte sur le prolongement de l'arbre de l'induit une vis sans fin attaquant une roue tangente dont l'arbre commande un train d'engrenages. L'appareillage peut être disposé pour renverser à chaque bout de course le sens de rotation du moteur, ou bien le train d'engrenages peut être double, c'est le cas actuel comme sur la plupart des raboteuses, l'un servant pour une course utile lente, et l'autre pour une course de retour rapide.

La vis sans fin tourne constamment dans une boîte à huile pour éviter l'échauffement ; des interrupteurs sont placés de chaque côté de la raboteuse.

Comme autre exemple de réduction par vis sans fin nous citerons un treuil escarbilleur de 25 kgm à arrêt automatique, figure 9 à 11.

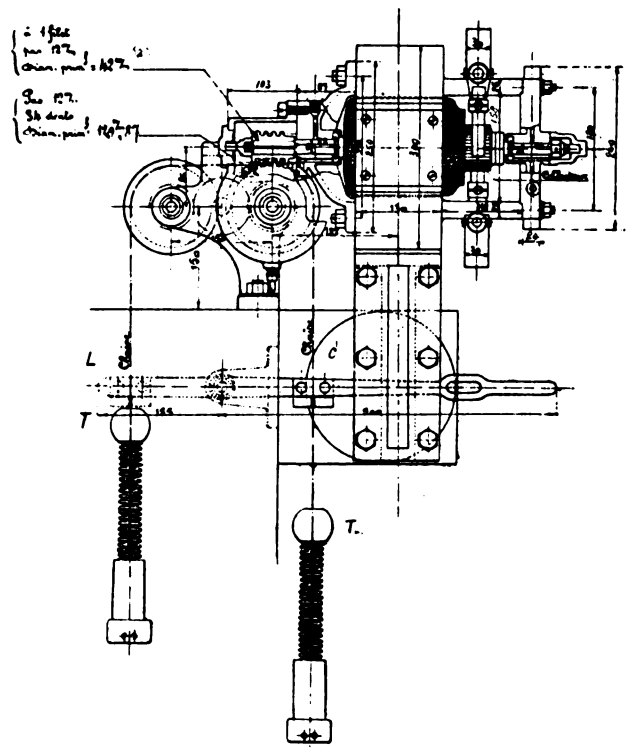


Fig. 10. — Treuil escarbilleur. Élévation.

Dans ce cas, le treuil est fixé contre une cloison et comprend un électromoteur dont l'arbre commande par vis sans fin un galet sur lequel passe la chaîne du treuil ; celle-ci est dirigée dans l'axe du puits par un galet de renvoi également muni d'empreintes.

La benne est accrochée à la chaîne calibrée qui s'enroule sur les roues à empreintes d'environ un quart de tour ; les deux galets sont rendus solidaires par un pignon satellite. Pour la manœuvre à bras on a relié l'axe de la première roue à empreintes à l'axe de la roue tangente au moyen d'une douille goupillée qui peut être facilement désembrayée ; il suffit

Digitized by Google

de retirer la goupille qui fixe la douille sur l'axe de la roue à empreintes et de faire glisser cette douille jusqu'à ce que le carré d'emmanchement de l'axe de la roue tangente soit complètement dégagé.

Pour l'arrêt automatique on a disposé sur la chaîne deux taquets en forme de sphères T qui peuvent être fixés à hauteur convenable pour enclancher un levier L qui manœuvre un

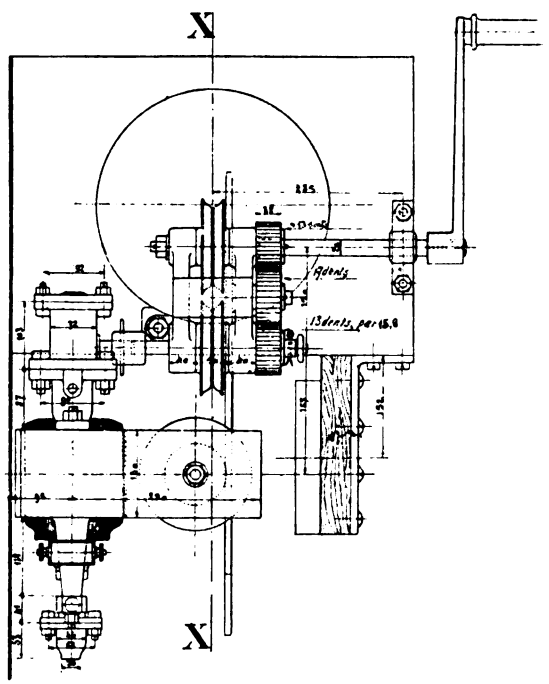


Fig. 11. — Treuil escarbilleur. Plan.

commutateur-interrupteur C aux extrémités de course. Ce commutateur C est fixé sur le treuil ainsi que le levier L. Les taquets sont supportés sur des ressorts de façon à amortir le choc contre le levier à chaque manœuvre.

Ces électromoteurs pèsent avec tout l'attirail 180 kg. et peuvent soulever une charge de 130 kg. à la vitesse de 0 m.20 par seconde en consommant 800 watts environ.

Le schema (fig. 12) montre la disposition particulière du commutateur. Le moteur étant enroulé en shunt, un rhéostat de démarrage doit être intercalé dans le circuit de l'induit. Au début de la manœuvre produite par le déplacement du levier L non figuré sur le schéma, l'excitation est établie, puis l'induit est mis en circuit avec sa résistance ; celle-ci est successivement réduite et enfin annulée. On obtient ainsi un démarrage très doux et propice au bon fonctionnement du treuil.

Pour obtenir un arrêt instantané, le circuit de la génératrice est d'abord coupé, puis

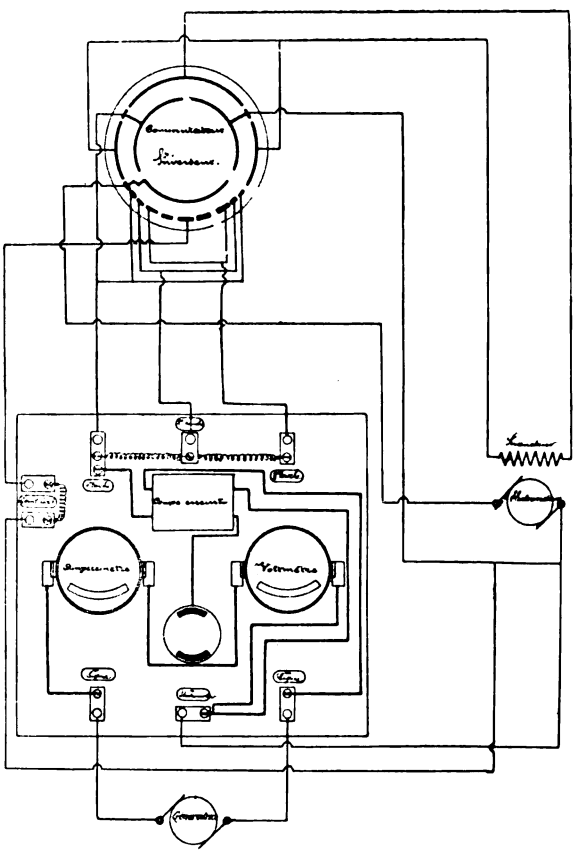


Fig. 12. — Schéma des connexions entre la génératrice et l'électromoteur.

l'excitation restant établie, un court circuit est établi sur l'induit de façon à obtenir un freinage électrique très énergique.

Sur le schéma, l'installation complète est représentée, mais le commutateur inverseur est seul solidaire du treuil.

Le commutateur est égalemeut disposé pour réaliser l'inversion du sens de rotation ; il suffit de suivre les connexions du schéma pour le reconnaître.

Le treuil escarbilleur de 15 kgm représenté

Digitized by Google

par les figures 13, 14, est à commande par friction.

La transmission de mouvement s'obtient au moyen de deux pignons A_1, B_1 en carton comprimé et de roues en fonte B_1 B_2.

L'adhérence est obtenue entre les pignons et les roues au moyen des ressorts R_1 et R_2.

Le ressort R_1 agit sur le support articulé S et presse le pignon B_1 contre la roue B_2.

Les ressorts placés en R_2, dans le logement

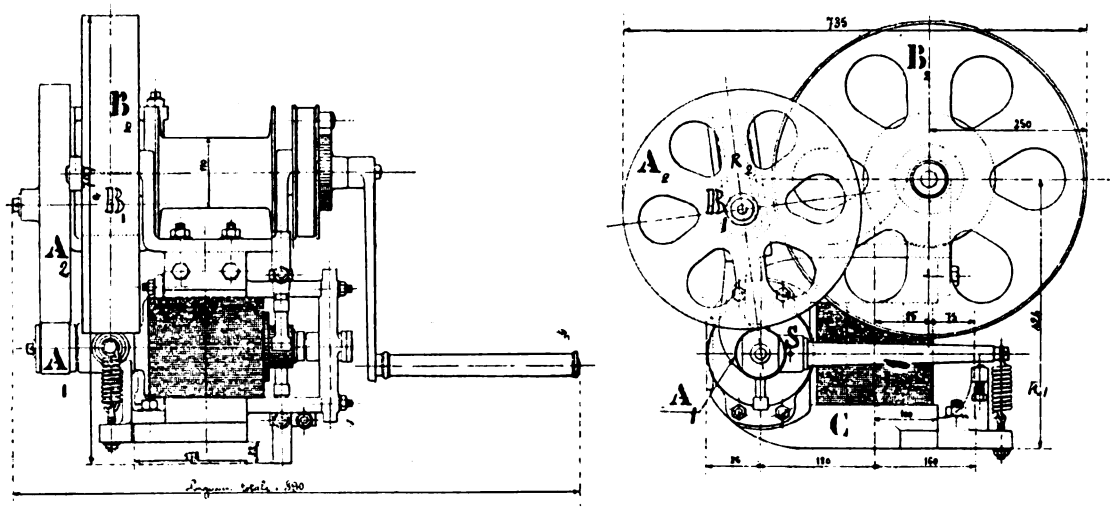


Fig. 13 et 14. — Treuil escarbilleur à friction (Maison Bréguet, constructeur). Élévation et vue de profil.

des coussinets qui portent l'arbre intermédiaire, agissent pour donner l'adhérence nécessaire entre A_1 et A_2.

Ces treuils soulèvent un poids de 75 kg. à 0 m. 20 par seconde en consommant environ 500 watts; le poids de l'appareil est de 178 kg.

(*A suivre.*) E.-J. BRUNSWICK.

LE TRAMWAY ÉLECTRIQUE

A RAIL SECTIONNÉ

SYSTÈME CLARET ET VUILLEUMIER

Pour compléter ce que nous avons dit dans nos deux précédents articles (1) il nous reste à décrire l'usine électrique et le type de voitures employé et enfin à examiner les résultats de l'exploitation.

L'usine électrique fournissant le courant sur la ligne était située dans un bâtiment léger, adossé au dépôt des voitures, tout à côté de l'entrée du parc de la Tête-d'Or du côté du quai. Cette usine était très intéressante par elle-même, parce qu'on y voyait un moteur de 100 chevaux marchant au gaz pauvre, et l'on sait que la construction de moteurs à gaz de puissance aussi forte date seulement de quelques années.

L'emploi des moteurs à gaz pauvre procure une économie de combustible notable puisqu'on obtient à pleine charge le cheval-heure avec une consommation de charbon de 700 gr. environ et même moins. Les moteurs à gaz pauvre commencent à être employés dans les stations électriques. Mais lorsqu'il s'agit d'une usine d'éclairage électrique, on ne peut guère se passer d'une batterie d'accumulateurs, car le moteur à gaz ne donnerait pas une régularité de tension suffisante. Dans une station

(1) Voy. l'*Eclairage Electrique*, n° du 4 mai, p. 211 et n° du 8 juin, p. 448.

Digitized by Google

centrale pour tramway électrique au contraire, où la régularité parfaite de la tension n'est pas nécessaire, on peut, sans inconvénient, employer directement le courant d'une dynamo mue par un moteur à gaz. C'est donc surtout dans ce cas particulier qu'il y a avantage à faire usage du moteur à gaz pauvre.

Le moteur « Simplex » système *Delamarre-Debouteville* d'une puissance de 100 chevaux était alimenté par un gazogène *Buire-Lencauchez*. Le principe de cet appareil est le même que celui des autres gazogènes, et consiste à produire, par une combustion lente de charbon mélangé de vapeur d'eau, un gaz pauvre en carbures éclairants mais contenant beaucoup d'oxyde de carbone et d'hydrogène et ayant un pouvoir calorifique de 1 500 calories environ. Ce qui distingue le gazogène Buire-Lencauchez des autres systèmes de gazogènes, c'est l'absence complète de chaudière. La vapeur d'eau, qui est généralement fournie par une petite chaudière séparée, est produite ici dans le gazogène même, en faisant tomber de l'eau sur la partie incandescente du combustible en présence d'un courant d'air froid très énergique, insufflé par un ventilateur.

Cette disposition donne de grandes facilités d'installation, puisqu'il n'y a même pas de cheminée à prévoir. En outre, elle dispense presque complètement de surveillance pendant la marche de l'appareil, car il suffit que le chauffeur vienne charger le combustible toutes les six heures environ, tandis qu'une petite chaudière, quoique demandant très peu de main-d'œuvre, doit être examinée assez fréquemment. Par contre, le gazogène Buire-Lencauchez a l'inconvénient de s'encrasser plus rapidement que d'autres systèmes dans lesquels la grille est mobile et l'air est surchauffé avant d'être injecté. Il en résulte que la grille doit être décrassée tous les jours après l'arrêt des machines, pendant la période de faible combustion du gazogène. De plus, on se trouve forcé d'éteindre de temps en temps complètement le gazogène afin de procéder à un nettoyage à fond de la grille.

Le gazogène, que la figure 14 montre avec son moteur, se compose d'une sorte de four vertical cylindrique entièrement clos et portant à sa partie supérieure une trémie par laquelle on introduit le combustible. Au-dessus de la grille coule un filet d'eau, tandis qu'au-dessous, dans le cendrier fermé, pénètre l'air insufflé par un ventilateur mû par le moteur lui-même. Le gaz pauvre sort à la partie supérieure du gazogène et pénètre par un tuyau, caché sur la figure, au bas d'une colonne de coke traversée par un courant d'eau froide. Le gaz, après s'être refroidi et lavé par le passage dans la colonne de coke, se rend par un tuyau vertical dans un gazomètre qui alimente le moteur à gaz au moyen d'une conduite placée sous le plancher de la salle.

Le moteur, qui est à un seul cylindre, porte deux volants et une poulie actionnant la transmission générale de l'usine. De plus il fait mouvoir un ventilateur placé dans une fosse et qui envoie l'air injecté dans le gazogène par un tuyau disposé sous le plancher.

L'air pénètre dans le gazogène par une valve de sûreté manœuvrée automatiquement par une tringle reliée à la partie supérieure du gazomètre. Lorsque celui-ci se trouve rempli, la soupape s'ouvre et l'air insufflé se répandant dans l'atmosphère au lieu de pénétrer sous la grille du gazogène, la production du gaz pauvre se ralentit aussitôt considérablement.

Lorsqu'on arrête le moteur pendant les heures de travail ou qu'on le met au repos à la fin de la journée, on n'éteint pas le gazogène parce que son rallumage est une opération très longue. Mais le ventilateur cessant d'insuffler de l'air sous le foyer aussitôt que le moteur s'arrête, la combustion se ralentit immédiatement et le gazogène ne brûle plus qu'une quantité de charbon très faible, 80 kg. pendant les dix heures d'arrêt des machines.

En général le gazogène reste donc allumé nuit et jour; on ne l'éteint qu'au moment où un nettoyage complet de la grille est devenu indispensable.

Le moteur à gaz, dont la vitesse angulaire est de 125 tours par minute, commande par

Digitized by Google

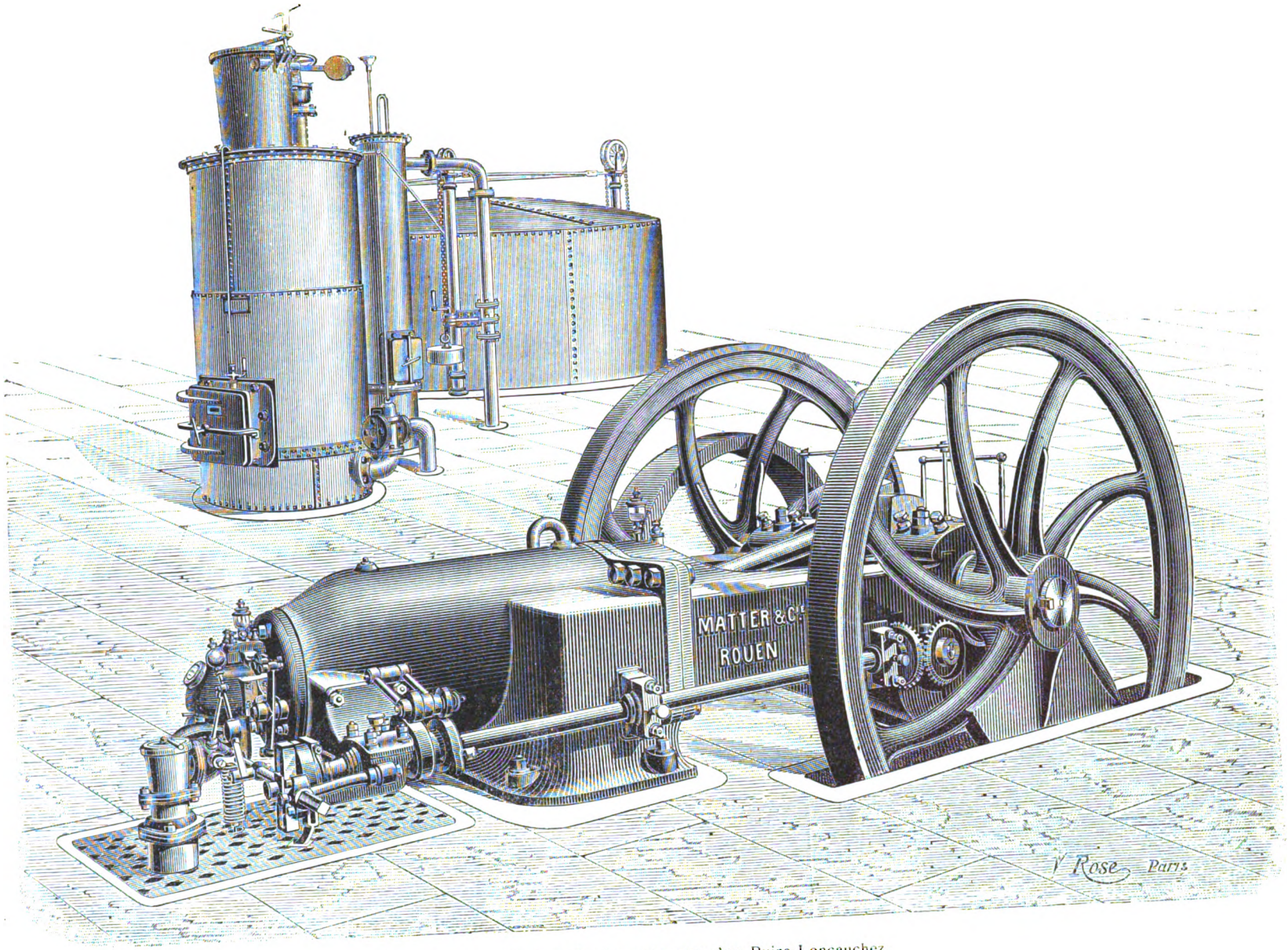


Fig. 14. — Moteur simplex avec gazogène Buire-Lencauchez.

Digitized by Google

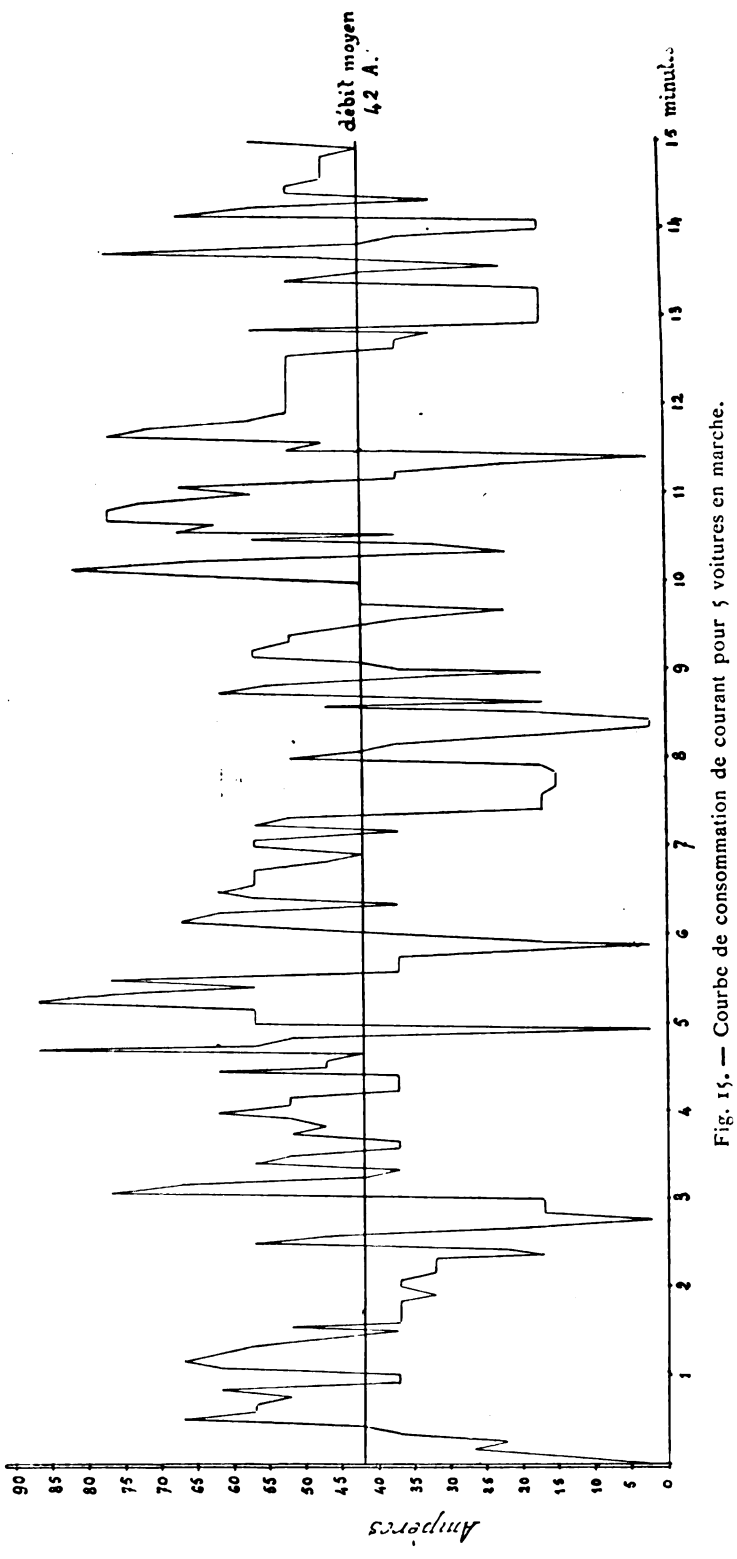


Fig. 15. — Courbe de consommation de courant pour 5 voitures en marche.

courroie une dynamo Thury à 6 pôles tournant à 300 tours par minute. Cette machine pourrait fournir 155 kilowatts, mais on ne lui demande jamais plus de 80 kilowatts, à la tension de 500 volts environ. Le débit de la dynamo varie d'ailleurs à chaque instant comme on le voit sur la figure 15 représentant le diagramme du courant absorbé par 5 voitures en marche. La dynamo génératrice qui est hypercompoundée, donne une tension aux bornes légèrement croissante à mesure que le débit augmente. Le circuit d'excitation en shunt est alimenté par une petite dynamo Thury de 78 volts et 15 ampères actionnée par le même moteur que la grosse génératrice. Le second circuit d'excitation est placé en série sur le conducteur principal traversé par le courant de la ligne.

Derrière l'usine génératrice se trouvait un hangar assez vaste, servant de dépôt et possédant des fosses de 20 m. de longueur pour la visite des moteurs.

Les 12 voitures qui ont fait le service du pont Lafayette à l'Exposition sont du type fermé à plates-formes et sans impériale contenant 22 places d'intérieur et 20 places sur les plates-formes.

Chaque voiture porte un seul essieu moteur sur lequel est monté un engrenage recevant le mouvement d'une autre roue solidaire de l'axe du moteur électrique. Le train d'engrenage, qui donne une réduction de 1/12, est noyé dans une boîte remplie d'huile. Le moteur bipolaire porte une culasse en C suspendue au châssis par un ressort spirale. Il est construit pour une puissance de 20 chevaux, mais il ne produit géné-

Digitized by Google

ralement que 10 à 12 chevaux avec une intensité de 15 à 17 ampères.

Le courant de distribution à 500 volts traverse 5 lampes à incandescence de 100 volts montées en série, et disposées 1 à l'avant, 1 à l'arrière et 3 dans l'intérieur du véhicule.

Le courant est recueilli sur le rail conducteur par 2 frotteurs (voir fig. 16) constitués chacun par une paire de patins. Ces patins sont formés par des pièces en fer appliquées de champ sur le rail conducteur par des lames formant ressort. Les 2 patins sont réunis par une entretoise en fer et sont montés sur une même poutre fixée sur le châssis de la voiture.

A l'avant et à l'arrière de la voiture se trouve un commutateur à 12 touches au moyen duquel le conducteur règle la vitesse de marche du tramway en faisant varier la résistance d'un rhéostat logé au-dessus du toit de la voiture. Le conducteur a également sous la main un interrupteur inverseur qui lui permet d'arrêter et de mettre en marche le véhicule en avant ou en arrière par la simple manœuvre d'un bouton poussoir qui déclanche un commutateur ouvrant ou fermant le circuit après avoir passé par toutes les résistances inter

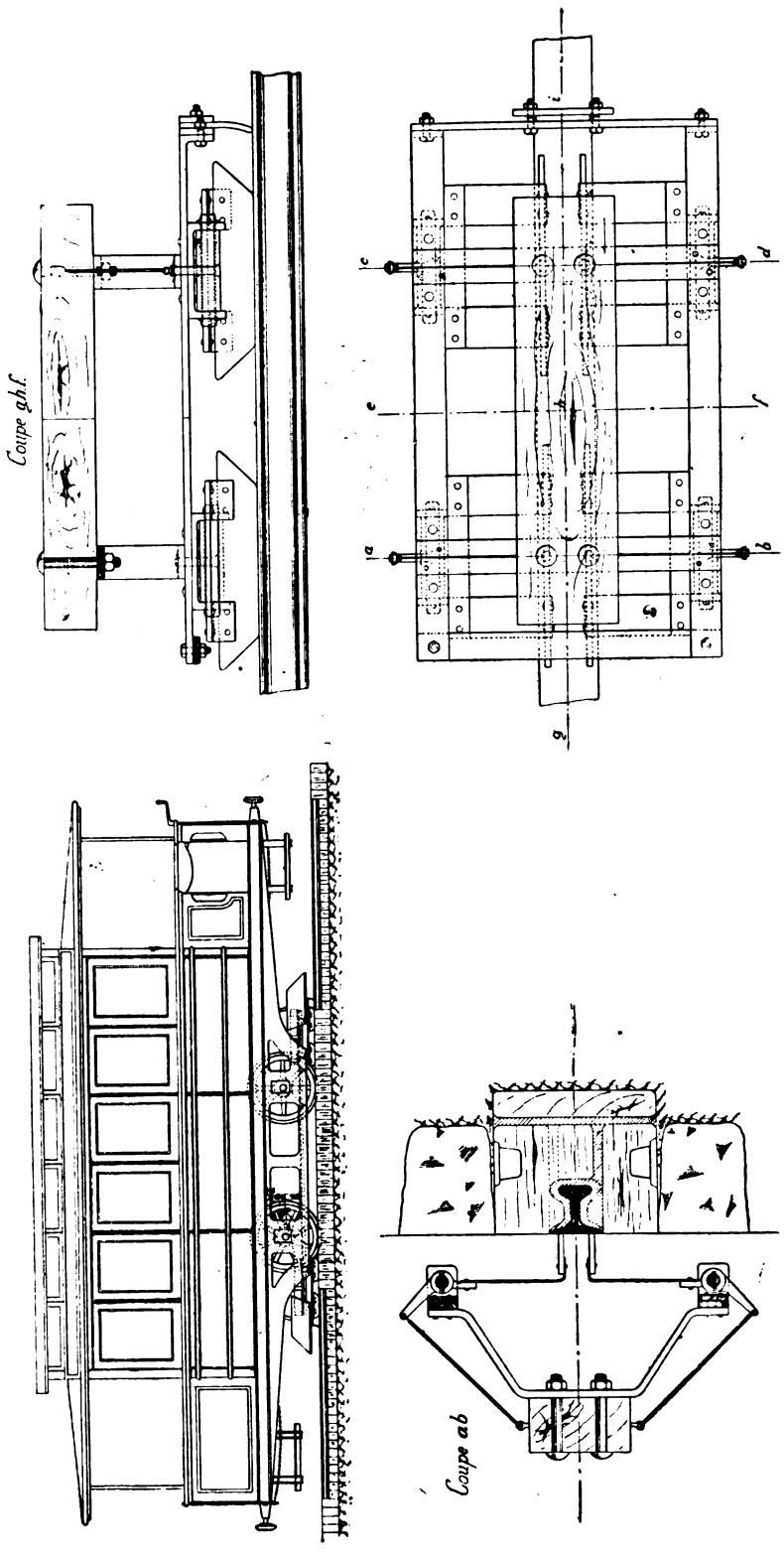


Fig. 16. — Patins de prise de courant.

Digitized by Google

médiaires. Outre ce commutateur, qui fonctionne avec une vitesse indépendante de la manœuvre du conducteur, celui-ci peut en cas de danger supprimer instantanément le courant en agissant sur un interrupteur à rupture très rapide, mais il lui est impossible de remettre cet interrupteur au contact avant d'avoir introduit la résistance maxima dans le circuit.

Le tramway effectue sans difficulté les changements de voie, car il n'existe pas d'aiguillage électrique et il suffit que l'aiguillage des voies de roulement soit fait pour que la voiture puisse passer. Le tramway peut même être arrêté au milieu d'un croisement de voies et remis en marche sans difficulté.

On a obtenu pendant les essais une vitesse de 35 km. à l'heure, mais en service ordinaire on s'est contenté de marcher à environ 25 km. à l'heure afin d'éviter tout accident. Les dimanches et jours de fête on a augmenté le trafic en conservant le même nombre de départs et en attelant ensemble deux voitures (ainsi que le montre la figure 17) dont une seule fonctionnait comme véhicule automoteur.

Les travaux de la voie ont été commencés le 10 février 1894, et le tramway a été mis en marche dès le 2 mai. Il a fonctionné ensuite sans interruption jusqu'à la fermeture de l'Exposition, c'est-à-dire pendant environ six mois. Le tramway électrique du pont Lafayette a été très apprécié par les visiteurs de l'Exposition car il a transporté au total le chiffre considérable de 730 862 voyageurs, et a effectué un parcours total de 115 000 kilomètres-voiture.

La ville de Lyon trouva le résultat de l'expérience si satisfaisant qu'elle offrit à MM. Claret et Vuilleumier de prolonger, après la fermeture de l'Exposition, le tramway du pont Lafayette jusqu'à la gare de Perrache. Mais la Société du tramway électrique n'a pas accepté cette proposition parce que l'itinéraire imposé suivant constamment les quais et étant déjà parcouru par une ligne ordinaire de tramways n'aurait pas procuré un trafic suffisamment rémunérateur. Les voitures ont cessé de circuler après la fermeture de l'Exposition, et la voie a été défaite quelques mois après.

Pendant le temps, assez court il est vrai, que nous avons passé à l'Exposition de Lyon, nous avons toujours vu le tramway du pont Lafayette fonctionner d'une façon parfaite. M. Vuilleumier nous a affirmé qu'il ne s'était produit aucun incident sérieux pendant toute la durée de l'Exposition. D'ailleurs le seul fait que malgré un trafic intense le service n'a pas été interrompu un seul jour suffit à prouver que le système Claret et Vuilleumier est capable d'assurer très régulièrement le service d'une ligne de tramways installée dans une grande ville.

Reste à examiner la question du coût de la traction. Les dépenses d'exploitation du tramway Claret et Vuilleumier sont certainement inférieures de beaucoup à celles d'un tramway à accumulateurs ou même d'un tramway souterrain; elles sont sensiblement égales aux dépenses d'un tramway aérien, c'est-à-dire très faibles. Ce qui élève le prix de revient de la traction de tout tramway électrique ce sont les frais d'amortissement dépendant du prix de premier établissement de la ligne.

Sans vouloir entrer dans le détail des divers cas qui peuvent se présenter, la supériorité du système aérien à trolley sur tous les autres systèmes nous paraît presque évidente. M. Vuilleumier reconnaît lui-même que son système ne peut pas soutenir la concurrence avec le système aérien à l'extérieur des villes et dans tous les endroits où l'on peut se contenter des poteaux de forme rustique. Mais il affirme que dans les quartiers riches où l'on est forcé d'employer des poteaux d'aspect plus ou moins artistique, son tramway ne coûte pas plus cher à établir qu'un système par trolley.

M. Vuilleumier cite comme exemple la ligne installée à Lyon qui a coûté 1 905 fr. par 100 mètres, somme dans laquelle le rail conducteur entre pour 106 fr., le poste de distributeur pour 200 fr. et le distributeur lui-même pour 250 fr. Il estime qu'un tramway à trolley établi sur la même ligne serait revenu à 2 159 fr. 50 par 100 mètres, c'est-à-dire aurait

Digitized by Google

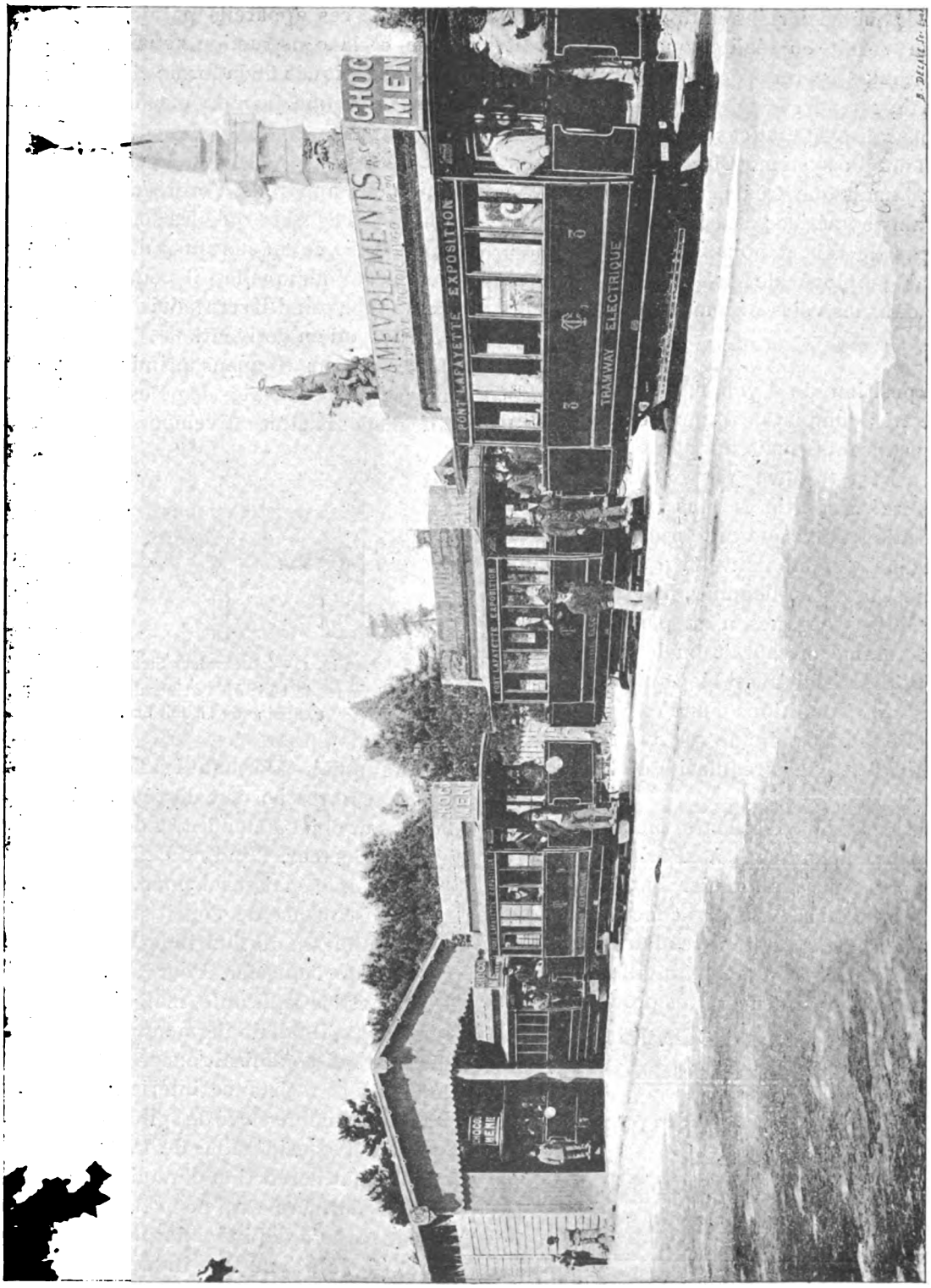


Fig. 17. — Vue du tramway sortant du dépôt.

Digitized by Google

coûté au moins aussi cher. Mais il est permis de penser que ce dernier chiffre est plus élevé qu'il ne serait en réalité, quand on y voit les poteaux figurer à eux seuls pour une somme de 1 328 fr.

On peut dire en tout cas que le prix d'établissement du système Claret et Vuilleumier ne sera jamais que très peu supérieur à celui d'un tramway aérien ; et dans ces conditions il n'y a pas de raison pour que ce système ne soit pas employé de préférence au type à trolley dans les voies encombrées des grandes villes.

L'Exposition de Lyon renfermait un ensemble très complet des appareils électriques les plus récents, mais au point de vue électrique c'est le tramway du pont Lafayette qui a constitué la partie la plus intéressante de l'Exposition, parce que cette première application d'un système nouveau a montré que le système Claret-Vuilleumier, malgré la multiplicité de ses organes, n'est pas un appareil délicat comme on aurait pu le craindre tout d'abord, et satisfait aussi bien que les systèmes aériens aux conditions d'une exploitation industrielle tant au point de vue du prix de l'établissement que de la régularité de fonctionnement.

Nous pourrons d'ailleurs bientôt voir le tramway en marche à Paris même, car MM. Claret et Vuilleumier ont obtenu par décret du 4 avril 1895 la concession d'une ligne de tramway électrique allant de la place de la République à Romainville, dont les travaux vont commencer très prochainement.

CH. JACQUIN.

LES ALTERNATEURS (1)

En abordant la question des alternateurs on est frappé au premier abord du grand nombre de types de machines que l'on rencontre. L'étude de ces appareils paraît en effet inachevée et la construction actuelle est encore bien plus éloignée de la forme définitive pour l'alternateur, que pour la machine à courant continu.

On suivra, dans cette étude et dans la description des appareils, l'ordre chronologique, en notant à mesure qu'elles se présentent les particularités de chaque appareil, ainsi que les observations auxquelles il peut donner lieu. Chaque type primitif sera suivi des générateurs modernes qui en dérivent.

L'alternateur Siemens primitif (fig. 1) se compose de deux séries de pôles positifs et négatifs disposés alternativement sur deux couronnes annulaires formant les flasques du bâti. Les pôles libres portent des épanouissements ayant pour objet d'étendre et de régulariser le champ inducteur. L'induit est composé de bobines plates et épaisses dépourvues de fer.

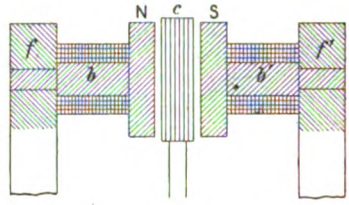


Fig. 1. — Alternateur Siemens.
ff', flasques du bâti ; *bb'* bobines de l'inducteur ; *c*, bobine de l'induit fixe.

La conséquence de l'épaisseur des bobines était la faiblesse du flux inducteur due à l'importance de l'entrefer. Pour avoir une force électromotrice suffisante, malgré la faible valeur du flux, il fallait augmenter le nombre de spires ce qui conduisait encore à une valeur élevée de la résistance intérieure de la machine. Ce nombre élevé de spires amenait aussi une valeur considérable de la self-induction augmentant la réaction d'induit.

Cette dernière est, en effet, liée très intimement avec la self-induction. Supposons deux spires (fig. 2), l'une fixe inductrice A, l'autre mobile et induite B (B se rapprochant de A) ; le sens du courant inducteur étant donné par les

(1) Conférence faite au Laboratoire central d'électricité. Voir l'*Eclairage Electrique* du 20 avril, p. 97, du 4 et 11 mai, pp. 202 et 255.

Digitized by Google

flèches, le sens du courant dans B s'en déduit aisément ; il se trouve dans le cas actuel indiqué par les flèches de la spire B et de sens contraire à celui de A.

1° Supposons que B soit dépourvue de self-induction. Le courant dans B sera donné par la loi d'Ohm en fonction de la force électromotrice induite et lorsque les spires B et A arriveront en coïncidence, le flux embrassé par B étant maximum, la force électromotrice induite sera nulle et de même le courant.

A ce moment précis la réaction due au courant induit dans le champ inducteur sera nulle. Dans le voisinage de la position considérée, de part et d'autre de la coïncidence, le courant

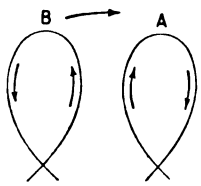


Fig. 2.

étant assez près de o les réactions dues à l'induit seront faibles.

2° Supposons au contraire que la spire B soit pourvue d'une self-induction L et d'une résistance R. La relation liant la force électromotrice au courant est

$$E = Ri + L\frac{di}{dt}.$$

Cette équation intégrée en supposant E de la forme

$$E = E_0 \sin 2\pi \frac{t}{\tau}$$

donne pour valeur périodique du courant

$$I = I_0 \sin\left(2\pi \frac{t}{\tau} - \varphi\right),$$

φ étant défini par la relation

$$\varphi = \text{arc tg } \frac{2\pi}{\tau}\frac{L}{R};$$

au moment où les deux spires inductrice et induite coïncident

$$t = \frac{\tau}{2} = \tau = \frac{3\tau}{2}, \text{ etc.,}$$

la valeur de I est

$$I = I_0 \sin \varphi.$$

C'est une valeur finie, et non plus nulle, et le circuit induit introduit dans le champ inducteur, au moment de la superposition des deux spires, un nombre d'ampères-tours négatifs proportionnel à l'intensité du courant dans ces spires à l'instant considéré $I = I_0 \sin \varphi$, intensité dont la valeur croît avec φ et par suite avec L et croît aussi avec I_0, c'est-à-dire avec le débit.

Dans l'alternateur Siemens cet effet est très marqué et, par suite de la grande résistance intérieure ainsi que de la valeur élevée de la

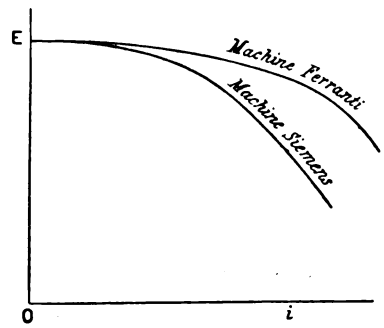


Fig. 3. — Caractéristiques à circuit ouvert d'un alternateur Siemens et d'un alternateur Ferranti.

self-induction, la caractéristique obtenue à circuit ouvert et à excitation constante sous charge croissante est une courbe rapidement tombante (fig. 3).

Une forme perfectionnée de l'alternateur Siemens fut l'alternateur de Ferranti. L'applatissement des bobines, en diminuant l'entrefer, permit d'augmenter le champ inducteur. Il fut alors possible de diminuer le nombre de spires, d'où la self-induction et la résistance intérieure.

M. de Ferranti dispose ses bobines verticalement par l'intermédiaire d'isolateurs en porcelaine sur un disque en bronze fixé à l'arbre de rotation.

M. Patin modifia l'alternateur de Ferranti en rendant l'induit fixe et l'inducteur mobile. De plus il dispose ses disques horizontalement dans un entrefer séparant deux anneaux con-

Digitized by Google

centriques d'inducteurs rayonnants solidaires l'un de l'autre.

Toutes les machines décrites jusqu'ici étaient à bobines relativement minces, sans noyau de fer. L'alternateur Mordey se rattache encore à cette classe d'appareils mais ici le flux induc-

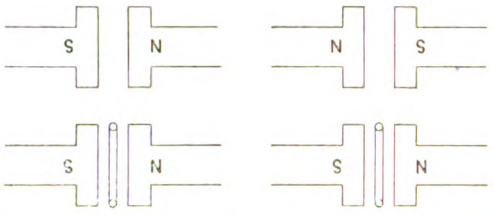


Fig. 4 et 5. — Alternateur à flux renversé et alternateur à flux ondulé.

teur, au lieu de passer comme dans les précédents d'un flux maximum positif à un flux minimum négatif, passe simplement d'un flux maximum à un flux nul. La première catégorie d'alternateurs, s'appelle alternateurs à flux renversé (fig. 4). La seconde à flux ondulé (fig. 5).

L'avantage de cette deuxième forme, qui se

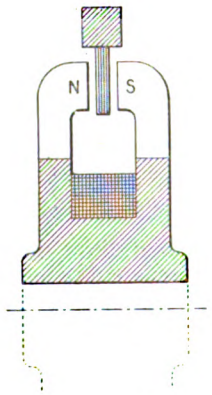


Fig. 6. — Alternateur Mordey Coupe.

retrouve dans beaucoup de nouveaux alternateurs, est de se prêter à une construction très économique et à une réduction de la dépense d'excitation. L'inducteur de l'alternateur Mordey (fig. 6) est formé d'un noyau de fer monté directement sur l'arbre mobile et portant en guise d'épanouissements polaires deux sortes de pignons dont les dents sont recourbées autour de la bobine magnétisante.

Le flux magnétique engendré par cette dernière se subdivise donc en un certain nombre de faisceaux dérivés comprenant des entrefers très réduits.

La machine Lontin appartenait à une classe très spéciale d'appareils; celle des alternateurs à pignon avec bobines induites pourvues d'un noyau de fer doux. Elle se compose d'électro-aimants disposés radialement et calés sur l'arbre (fig. 7). Le système induit est fixe et constitué par un tambour en fer portant des projections intérieures en nombre égal à celui des dents de l'inducteur, autour des-

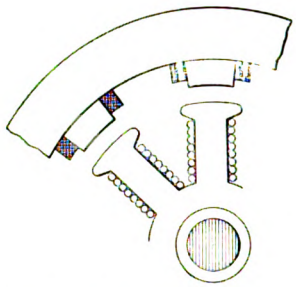


Fig. 7. — Alternateur Lontin.

quelles sont enroulées des bobines induites.

Les machines Lontin étaient constituées par des noyaux de fer massif; le résultat était de donner lieu à la production de courants de Foucault dans la carcasse de l'inducteur et plus encore dans celui de l'induit.

MM. Zipernowski et Déri remédièrent à cet inconvénient en constituant d'abord l'induit, puis l'inducteur, par des tôles sectionnées et assemblées. De leurs machines, les unes ont des inducteurs pourvus d'épanouissements; les autres n'en ont pas. Le résultat est différent en ce qui concerne la forme de la courbe du courant induit.

On sait en effet que toute courbe périodique peut s'exprimer par une loi complexe de la forme.

$$E = E_0 \sin 2\pi \frac{t}{\tau} + E_1 \sin 2 \, 2\pi \frac{t}{\tau} \times E_2 \sin 3 \, 2\pi \frac{t}{\tau} - \text{etc.}$$

Digitized by Google

Mais il y a un intérêt considérable pour le courant alternatif à réduire les harmoniques d'ordre supérieur au premier autant que possible et à les rendre négligeables. On est amené, sans cela, à des courbes de courant ou très aiguës ou dentelées. En suivant la loi sinusoïdale au contraire on réduit le rapport de la force électromotrice maxima à la force électromotrice moyenne, ce qui est avantageux pour l'isolant. On diminue les pertes par hystérésis et on facilite grandement toutes les questions relatives au calcul soit pour l'alternateur lui-même, soit pour les appareils qui doivent se trouver en réseau avec lui.

Il est aisé de voir qu'en modifiant les

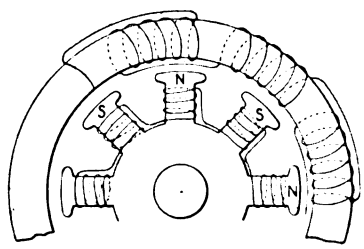


Fig. 8. — Alternateur Gramme.

épanouissement polaires, on amène de très brusques variations de flux à certains instants et très lentes à d'autres conduisant pour la force électromotrice à une loi exprimée par une courbe qui dépend de leur forme.

L'alternateur Westinghouse est, en quelque sorte, un alternateur Zipernowski renversé. L'inducteur est fixe et placé extérieurement, l'induit est composé d'un tambour en tôles de fer doux sur lequel sont fixées les bobines plates au moyen de frettes.

On peut rapprocher de ce type l'alternateur Brown.

Avec l'alternateur Gramme, on arrive à une forme spéciale. Le système inducteur (fig. 8) est analogue à celui de l'alternateur Lontin, mais l'induit est constitué par un anneau de fer doux lamellé, avec un enroulement formé par une série de bobines connectées d'une manière permanente, de manière à ce que les forces électromotrices induites dans les bobines semblablement placées par rapport à des pôles de nom contraire s'ajoutent.

Ces machines sont douées d'une très grande self-induction et d'une résistance intérieure élevée. Il n'était pas rare de trouver des alternateurs Gramme destinés à l'éclairage par bougies Jablokoff, donner 450 volts à vide et 250 volts à pleine charge.

Cette particularité, qui eût été un grave défaut pour d'autres usages, était un véritable avantage dans le cas de l'éclairage à l'aide de bougies électriques.

Au moment de l'allumage, en effet, il était nécessaire de disposer d'un voltage considérable pour faire traverser au courant la résistance de la pâte charbonneuse constituant l'artifice d'amorçage. Un générateur réglé pour fonctionner, à potentiel presque constant, n'eût pas permis de passer cette période de fonctionnement.

La tendance actuelle dans les nouveaux types d'alternateurs est d'arriver à des générateurs très robustes et de construction très économique. Un grand pas a été réalisé dans cette voie par l'alternateur Mordey que nous avons précédemment décrit.

Dans la machine Mordey on est arrivé à supprimer l'emploi de la tôle de fer doux d'un usage si onéreux.

Dans deux nouvelles machines, on a poussé encore plus loin la simplicité de construction et, pour éviter toute chance d'accident dans les enroulements, on a laissé fixe à la fois l'inducteur et l'induit. Les variations de flux sont obtenues, en faisant varier la perméabilité du champ inducteur. Ce sont les machines Thury et la machine de l'Allgemeine Elektricitat Gesellschaft. Cette dernière (fig. 9 et 10), est constituée par une poulie creuse *a*, à l'intérieur de laquelle est enroulé le circuit inducteur *b*. Les joues de cette poulie sont dentées et, sur ces dents sont disposées les bobines induites *c*. Le circuit magnétique se ferme par l'intermédiaire d'une couronne intérieure *d* mobile armée elle-même de deux séries de dents, ne laissant qu'un étroit entrefer.

Digitized by Google

Le succès actuel des alternateurs tient à la facilité qu'ils donnent de produire directement des tensions fort élevées, à l'économie de construction de ces appareils due à leur simplicité et plus encore à la facilité de transformation.

Le transformateur actuel à courant alternatif, constitué en principe par un circuit magnétique fermé avec enroulement inducteur et enroulement induit, est économique et d'un rendement élevé.

Calcul d'un alternateur. — Pour calculer un alternateur, on suit une marche analogue à celle du calcul des dynamos à courant continu. Ce calcul ne sera pas fait ici, car il doit être modifié suivant le type de l'alternateur considéré et ces types sont trop nombreux pour être examinés en particulier.

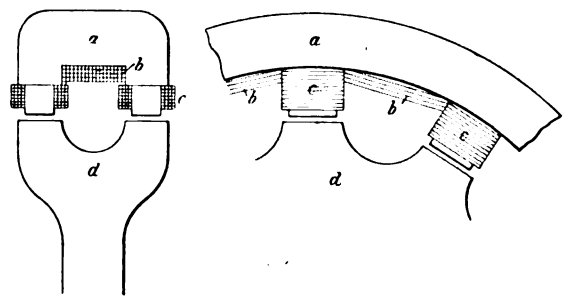


Fig. 9 et 10. — Alternateur de l'Allgemeine. Elektricitat Gesellschaft.

A côté du nombre de volts et d'ampères qui caractérisent la machine à courant continu s'introduit un troisième élément : la fréquence ou nombre de périodes complètes par seconde.

Le chiffre admis pour la fréquence dans les machines est très variable; le minimum se rencontre en Europe avec 40 périodes, le maximum en Amérique avec 133 périodes. La tendance actuelle est de diminuer la fréquence. La nouvelle installation du Niagara comporte une fréquence 25; ce chiffre paraît difficile à dépasser. Il est même trop faible toutes les fois que des lampes à arc se trouvent sur le circuit desservi par l'alternateur. A chaque annulation du courant, la lampe s'éteint et s'allume. La persistance de l'image rétinienne empêche l'œil de percevoir ce phénomène au-dessus de 40 périodes. Mais au-dessous, il n'en est plus de même.

En dehors des lampes à arc, il semblerait avantageux d'abaisser encore au-dessous de 40 périodes la fréquence des alternateurs.

La perte par hystérésis et le nombre de pôles inducteurs diminuent avec la fréquence; et l'on réduit aussi le bruit des appareils en réseau tels que transformateurs et lampes à arc.

Le chiffre admis pour l'induction maxima est d'autant plus bas que la fréquence est plus élevée; pour les alternateurs à 40 périodes, l'induction maxima est en moyenne de 7 000, elle est de 5 000 pour 60 périodes et au-dessus.

L'excitation doit être prévue largement, on peut calculer, comme on l'a vu, la réaction d'induit au moment de la coïncidence des bobines. Le produit $4\pi n I_0 \sin \varphi$ représente alors la force magnétomotrice négative due à l'induit. Ce calcul serait aisé si on connaissait la valeur de φ. Mais φ est difficile à apprécier, il dépend non seulement de la self-induction de la bobine mais encore de celle de tous les appareils en circuit. Dans les machines actuelles, l'angle φ est compris entre deux limites telles que $\cos \varphi = 0{,}30$ et $\cos \varphi = 1$. En général, $\cos \varphi$ est voisin de 0,85, au moment pe la pleine charge.

La self-induction des bobines peut être calculée par la formule $L = 4 \pi n^2 P$, n étant le nombre de spires de la bobine, P la perméance du circuit magnétique. On donne le nom de perméance à l'inverse de la réluctance qui a elle-même pour expression

$$\Sigma \frac{l}{\mu S}$$

d'où

$$P = \frac{1}{\Sigma \frac{l}{\mu S}}.$$

Excitation des alternateurs. — Généralement les alternateurs sont excités à l'aide d'une petite machine spéciale à courant continu; quelques machines sont auto-excitatrices. Dans ce dernier cas, le courant est fourni par

Digitized by Google

une dérivation du courant alternatif préalablement redressé au moyen d'un commutateur à

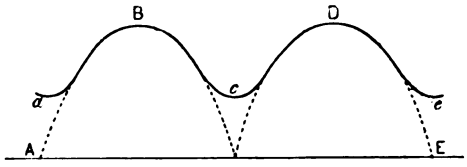


Fig. 11. — Ondulation du courant d'excitation.
A, B, C, D, E, courbe du courant inducteur ; *a* B *c* D *e*, courbe réelle dans les bobines d'excitation,

coquilles. On obtient ainsi un courant de sens continu mais de valeur assez variable. Pour diminuer les fluctuations, on met les bobines inductrices en court circuit au moment de l'annulation du courant.

Grâce à la self-induction considérable du circuit, on obtient comme représentation du courant une courbe ondulée mais ne s'annulant pas (fig. 11). Ces variations de flux inducteur amènent des courants de Foucault et des pertes par hystérésis. Aussi l'auto-excitation est-elle rarement employée dans les machines modernes.

R.-V. PICOU.
Ingénieur des Arts et Manufactures.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Transmission téléphonique Muirhead et Green (1894).

A chaque poste téléphonique se trouve un transformateur à circuit magnétique ouvert, avec un seul secondaire P et plusieurs circuits primaires $P_1 P_2 P_3 \ldots$ Dans l'un de ces circuits P_1, se trouve le transmetteur T, sa clef K et sa pile B ; dans l'autre, P_2, une clef de Morse MK et sa pile B' ; dans le troisième, P_3, un récepteur téléphonique R, avec bobines de faible résistance et grand diaphragme. Aux divers points intermédiaires de la ligne on intercale des postes analogues, avec secondaire S, en série comme en X, ou en dérivation comme en Y.

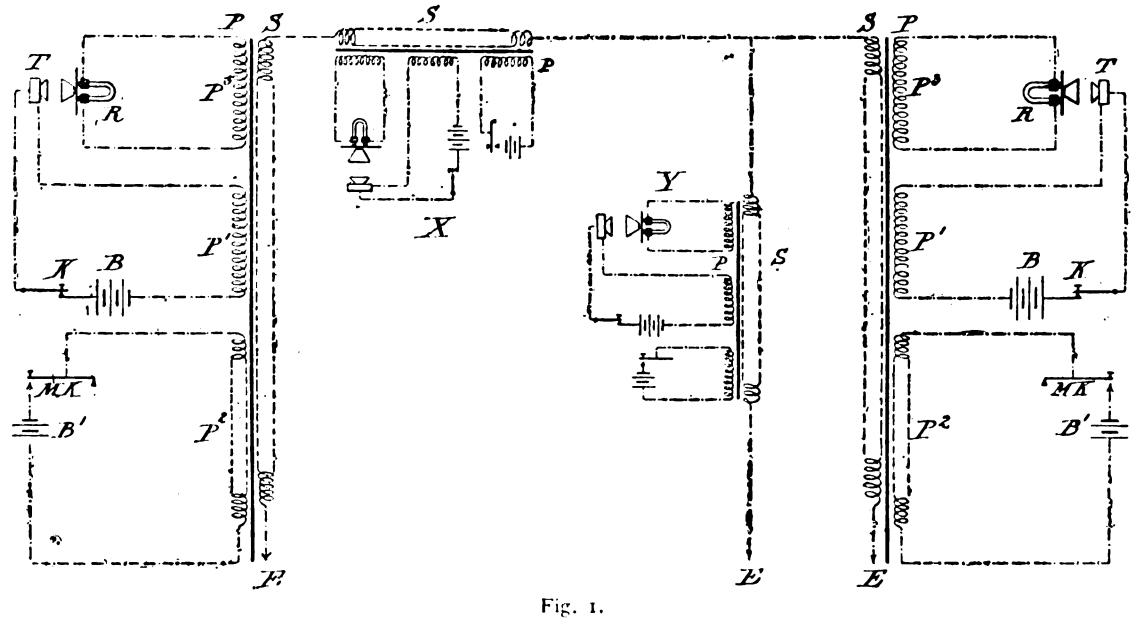


Fig. 1.

On peut ainsi utiliser la ligne pour la télégraphie ou la téléphonie à volonté.

Pour appeler ou pour télégraphier, l'on place le transmetteur téléphonique comme sur la

Digitized by Google

figure, en face du récepteur R, de manière qu'ils s'influencent mutuellement, et, qu'en frappant la clef K, l'on produise aux transmetteurs des deux bouts de la ligne des signaux télégraphiques très puissants. Après quoi, l'on commence la conversation téléphonique. Par P_2 et KM, l'on peut télégraphier suivant l'alphabet Morse, sans interrompre la conversation téléphonique.

Les diaphragmes des téléphones sont de préférence en un disque de carbone ou de verre de 75 mm. environ de diamètre et de 1/2 mm. d'épaisseur, avec, au centre, une pastille de charbon collée en formant contact par l'interposition d'une pastille d'étain.

G. R.

Electrolyseur Hargreaves et Bird (1894)

Cet appareil est destiné spécialement au traitement des eaux d'égouts. Il se compose (fig. 1) d'une série d'éléments A A′, à cathodes *a a′* en matières poreuses, et anodes *b b′* en carbone. L'eau d'égout traverse ces éléments suivant les

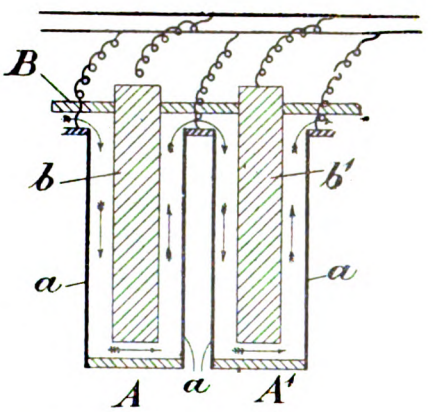


Fig. 1. — Éléments de l'électrolyseur Hargreaves et Bird.

flèches, et les éléments peuvent être plongés dans un courant d'air chaud ou de vapeur pour en activer l'action.

En figure 2 le liquide suit le trajet C C_1 C_2, autour des anodes *b* b_1 et des cathodes *a* a_1, avec circulation d'air chaud ou de vapeur en *c* c_1 c_2, de manière à leur assurer une surface considérable et très active.

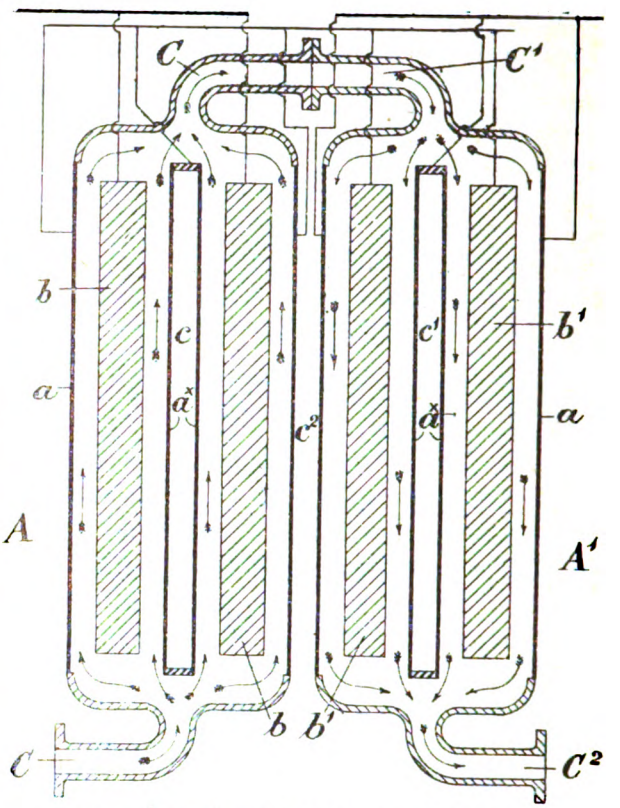


Fig. 2. — Électrolyseur Hargreaves et Bird, avec circulation d'air chaud ou de vapeur.

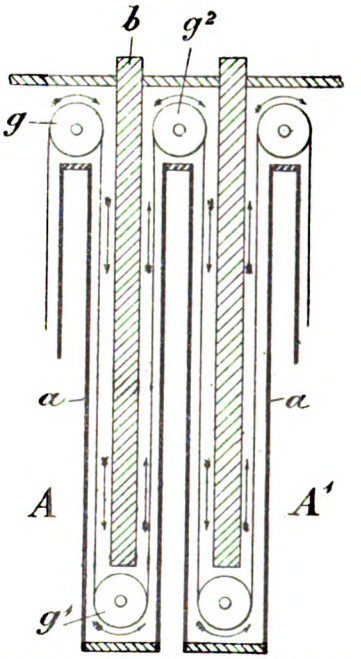


Fig. 3. — Électrolyseur Hargreaves et Bird disposé pour le blanchiment des tissus.

Digitized by Google

Enfin en figure 3, l'appareil est disposé pour le blanchiment des tissus, que l'on fait passer, entre les anodes et les cathodes, sur des galets $g\ g_1\ g_2$, dans une dissolution de chlorure de sodium.

G. R.

Galvanisation électrique Coles et Walker (1893).

L'objet de ce procédé est de recouvrir d'une couche de zinc adhérente et très mince des tôles

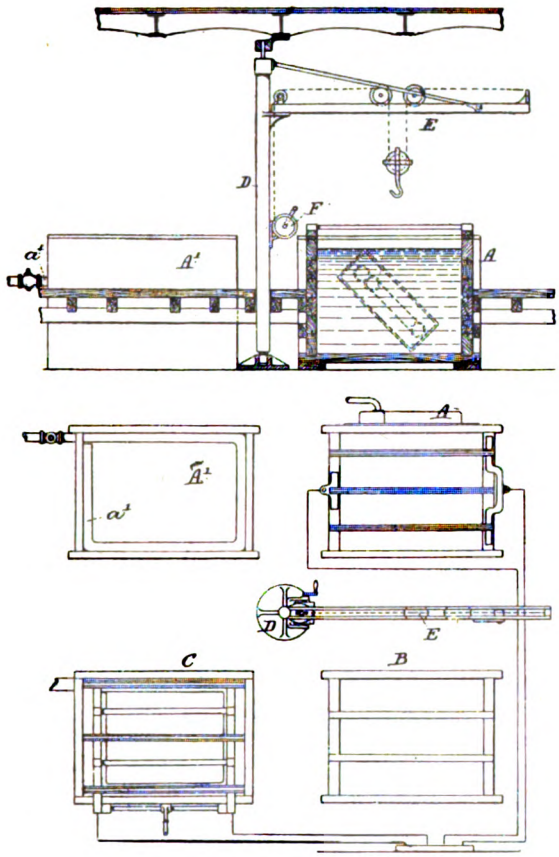


Fig. 1 et 2. — Galvanisation Coles et Walker. Ensemble.

destinées à être peintes ensuite, comme, par exemple, les coques de navires, qui sont ainsi mieux protégées contre l'oxydation que par de la peinture seule.

Avant de les galvaniser on passe les tôles dans un bain acide A puis dans un bain laveur B (fig. 1 et 2) ou, si elles sont grasses, dans un bain alcalin A_1, chauffés ou non par des serpentins de vapeur a_1, ainsi que la cuve de galvanisation C ; ces serpentins doivent être isolés par des rondelles en caoutchouc, qui empêchent

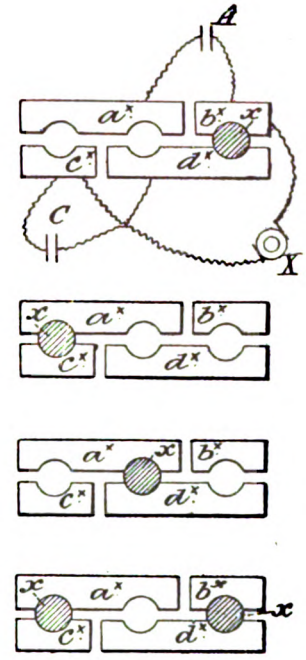


Fig. 3 à 6. — Détail du commutateur.

toute mise en court circuit par les parois du bac.

Un commutateur à fiche x très simple permet de mettre par $a^*\ b^*\ c^*\ d^*$ soit (fig 3) C ou A seuls en circuit, ou A et C soit en série (fig. 5),

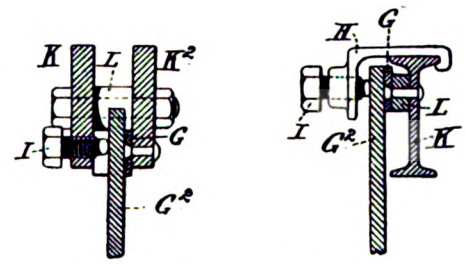


Fig. 7 et 8. — Attaches des anodes.

soit en parallèle (fig. 6). Enfin, ces différents bains sont groupés de manière à être desservis par une seule grue radiale E (fig. 1).

Le courant est amené aux anodes G_2 (fig. 7) par des barres de cuivre G, fixées à une poutre de fer K, avec tasseaux d'écartement L, les

Digitized by Google

anodes sont appuyées sur G par des étriers H, à vis de pression I. Quand il faut pouvoir

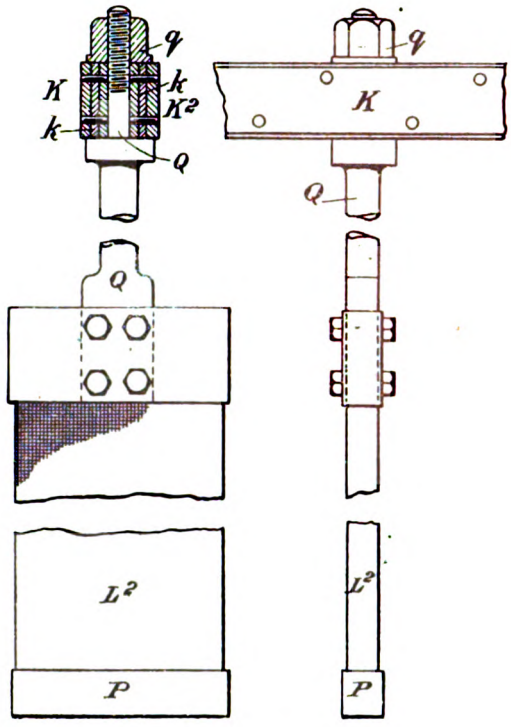


Fig. 9 et 10. — Pivotement des anodes.

tourner les anodes de manière à les présenter parallèlement aux différentes faces d'un objet

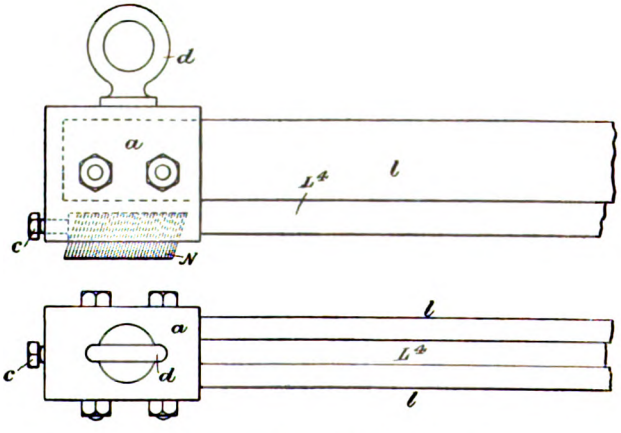


Fig. 11 et 12. — Détail des anodes.

de forme irrégulière, on les suspend (fig. 9 et 10) par des tiges Q, avec boulon de serrage *q*, à une barre de cuivre *k* rivée entre deux fers K et K². Les cathodes sont constituées par une barre de fer L_4 (fig. 11) prise entre deux bandes de cuivre *ll*, avec boîte de contact *a*, à crochet *d*, et à balais de cuivre N, serrés par *c*.

Le conducteur principal est, (fig. 13 et 14)

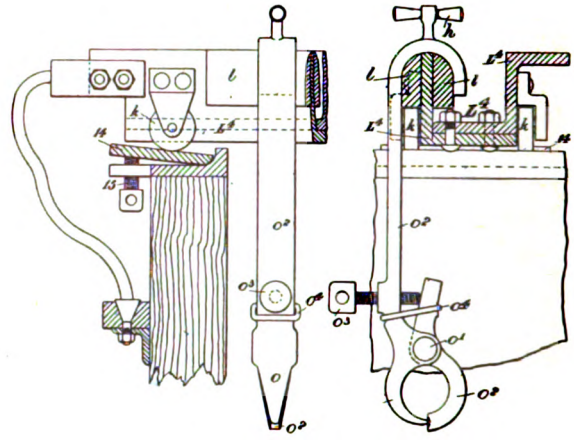


Fig. 13 et 14. Détail du conducteur principal.

dans le bain de galvanisation, porté par des galets *k*, sur des voies 14, réglables par des vis 15 de manière à soulever plus ou moins pendant leur parcours, les barres de suspension L_4. Enfin les tôles sont suspendues sur *l* en $o^3 h$. par des pinces $o\ o_2\ o_1$, à bague o_4 et serrage o_3.

G. R.

Application de l'électricité à la cuisine et au chauffage, par R. E. Crompton.

L'utilisation de l'énergie électrique, aujourd'hui si répandue dans l'éclairage domestique, a été jusqu'ici regardée par le public, et même par des praticiens ayant des connaissances techniques, comme impraticable en ce qui concerne le chauffage et la cuisine; et en tout cas comme trop coûteuse pour s'introduire dans nos demeures.

Il n'en est rien. Cette application est devenue actuellement éminemment pratique, et, comme telle, appelée à rendre de grands services.

L'idée préconçue à laquelle nous faisions tout à l'heure allusion provient surtout de ce

Digitized by Google

fait que les avocats de l'éclairage électrique ont, dès son apparition, rebattu les oreilles du public de cet encouragement qu'un des principaux avantages de l'éclairage électrique est son innocuité calorifique. On a même précisé en montrant qu'un bec de gaz de 10 bougies échauffait l'atmosphère d'une pièce habitée treize fois autant qu'une lampe à incandescence de même intensité, et c'est la connaissance de ces résultats comparatifs qui a empêché les ingénieurs électriciens d'étudier attentivement les problèmes relatifs à la production de la chaleur par l'électricité.

Dès les premiers jours de la nouvelle science Siemens avait cependant démontré que, là où il est nécessaire de concentrer une chaleur intense dans un étroit espace, l'arc électrique fournit un des foyers les mieux appropriés à cet objet, et présente réellement, dans bien des cas, des avantages économiques. C'est sur ce principe que Cowles a basé ses premiers fours pour la réduction de l'aluminium; il est également appliqué dans le procédé Benardos pour la soudure électrique, et a récemment permis à M. Moissan de réaliser la fusion des corps considérés jusqu'ici comme les plus réfractaires.

En ce qui concerne la production de la chaleur en vue de la cuisine et du chauffage des appartements, on a peu ou rien fait jusques il y a quatre ans environ. En effet si Lane Fox a été le premier à faire ressortir, dans son brevet de 1878, que l'on pouvait réaliser d'une façon satisfaisante le chauffage électrique en mettant dans un récipient entouré d'une bobine de fil isolé traversée par un courant les aliments ou autres matières à échauffer, rien ne paraît avoir été tenté dans cette voie jusqu'à ces quatre dernières années. Carpenter, en Amérique, a bien développé les idées de Lane Fox en prenant un brevet pour la construction d'appareils électriques de chauffage basés sur la soudure de ces fils de résistance à la surface de plaques de fonte; il en a fabriqué un grand nombre en Amérique et en a même envoyé en Angleterre un certain nombre qui ont apparu à l'Exposition du Palais de Cristal en 1891. Mais on a reconnu que les appareils de Carpenter, tout en étant suffisants pour démontrer la possibilité de cette application, n'étaient pas alors assez durables pour entrer réellement dans la pratique. On y découvrit de nombreux et graves défauts, notamment au point de vue de l'émail dont étaient revêtus les fils et qui s'écaillait, laissant ainsi la surface du fil exposée à l'action oxydante de l'air; d'où sa destruction rapide et rupture du circuit.

M. Crompton a pensé que cette difficulté pouvait être surmontée, et il a, dans ce but, poursuivi d'assez longues recherches sur la nature des métaux qui supportaient le mieux les alternatives d'échauffement et de refroidissement auxquelles sont soumis ces appareils et qui, en même temps, avaient un coefficient de dilatation linéaire aussi voisin que possible de celui des émaux employés et des plaques sur lesquelles ils doivent fixer les fils, de manière à éliminer la tendance au fendillement provenant d'une inégale dilatation.

A la suite d'une longue série d'essais, il a trouvé que plusieurs alliages d'acier et de nickel, de composition variant du nickel pur à d'autres formations métalliques contenant une forte proportion d'acier, répondaient à ce desideratum et étaient à tous égards bien supérieurs aux alliages de maillechort employés en Amérique. Il a également reconnu que, en substituant à l'émail homogène appliqué par Carpenter un émail gradué formé de deux ou plusieurs couches, dont la plus inférieure fût la plus dure et la plus réfractaire, on arrivait à des résultats très satisfaisants. Il est parvenu à utiliser comme première couche un émail presque exclusivement siliceux, qui ne fond qu'à une température extrêmement élevée, presque voisine du point de fusion du fer. Il a imaginé un mode spécial de décapage artificiel pour les surfaces des plaques sur lesquelles doit être appliquée cette première couche. Dans ces conditions, on est sûr de n'avoir jamais même un simple ramollissement de la couche d'émail entre le fil et la plaque à laquelle il est fixé, aux températures

Digitized by Google

auxquelles sont soumis les appareils en fonctionnement courant. Le fil de nickel aciéré est ensuite appliqué en forme de ruban ondulé à l'aide d'une machine spécialement construite pour cet objet.

Ce ruban ondulé est monté sur la surface d'une plaque provisoire ci-après décrite, et reporté de là sur la surface de la première couche d'émail préalablement portée à une température suffisante pour la ramollir sans la fondre. Le premier émail et le fil sont ensuite recouverts d'une poudre d'émail plus fusible, et l'ensemble est alors porté à une température assez élevée pour fondre le second émail et l'amener à faire corps avec la première couche, en recouvrant en même temps et isolant complètement les fils. Ce tour de main est un de ceux qui ont nécessité le plus d'étude et qui exigent le plus d'habileté manuelle de la part des ouvriers; mais une fois réalisé il donne d'excellents résultats. Il permet au fil de supporter les températures courantes du chauffage et de la cuisson des aliments sans risque de fendillement de l'émail et d'oxydation du fil sous l'action de l'air.

L'ondulation du fil et l'étude des plaques provisoires auxquelles il est fait allusion ci-dessus n'ont pas été une des moindres difficultés à résoudre. Si l'on essaie en effet d'onduler ce fil ou de lui donner différentes formes à la main, on reconnaît bientôt qu'il tend toujours à s'amincir aux points de courbure, ce qui augmente sa résistance électrique en ces points et y détermine un échauffement plus grand qu'aux points intermédiaires. Pour prévenir cet inconvénient il a fallu étudier une machine effectuant cette opération sans modifier la section du fil et le prenant sur un dévidoir pour le mettre en forme et l'appliquer dans les conditions voulues à la surface des plaques provisoires.

Quant à ces plaques elles-mêmes, elles consistent en un plateau métallique au dos duquel sont fixés un certain nombre d'électro-aimants disposés de telle sorte que, le fil aciéré étant monté sur sa plaque en la forme voulue, leur excitation le maintient en position jusqu'au moment où l'on veut le transporter sur la surface échauffée de l'émail, ce qui s'effectue instantanément par la rupture du courant d'excitation.

Ce procédé permet d'appliquer un fil de forme si complexe que ce soit à la surface d'une plaque métallique quelconque et de l'isoler de celle-ci d'une manière absolument sûre et permanente au moyen de l'émail spécial employé. On ne s'en est pas moins heurté à d'autres difficultés inhérentes à l'emploi de ces émaux, et notamment aux dilatations et contractions inégales aux extrémités des fils en connexion avec les bornes; l'émail se craquelait et les bornes se brûlaient et s'oxydaient là où ils n'étaient plus protégés par l'émail.

La forme la plus simple d'appareil s'échauffant sous le passage d'un courant dans un fil soudé par émaillage à sa surface est ce qu'on appelle un réchaud. Il est formé d'une plaque cylindrique montée sur des pieds peu élevés, et à la partie inférieure de laquelle est appliqué le fil, tandis que la partie supérieure en est plate et polie. Ce réchaud peut, sous des formes diverses, recevoir bien des applications; on peut l'employer soit comme calorifère rayonnant ou radiateur d'appartement, soit comme réchaud de table pour les plats et les assiettes, soit comme sécheur de linge, soit encore pour chauffer ou sécher tout objet qu'il serait incommode ou dangereux de placer près du feu. Il peut également servir à la cuisson d'aliments en vases plats, à la condition qu'il y ait contact parfait entre le fond du vase et la plaque supérieure du réchaud; mais cette perfection de contact étant difficile à réaliser avec les réchauds ordinaires à toutes fins, il en résulte toujours des déperditions de chaleur et il est préférable d'employer des plaques de chauffage faisant partie intégrante des appareils culinaires.

(*A suivre.*) E. B.

Télégraphe sous-marin Muirhead (1894).

Les deux leviers de contact *l* du récepteur sont (fig. 1 et 2) terminés par des pointes

Digitized by Google

d'acier x, qui traversent les trous de la bande de papier s, et par des taquets h en prise (fig. 8) avec les rochets r, r, d'autant de dents que le pignon qui entraîne la bande de papier. Ces rochets aident la marche du papier, en sortant lentement de ses trous les pointes x et en ne les y laissant pénétrer vivement qu'au moment

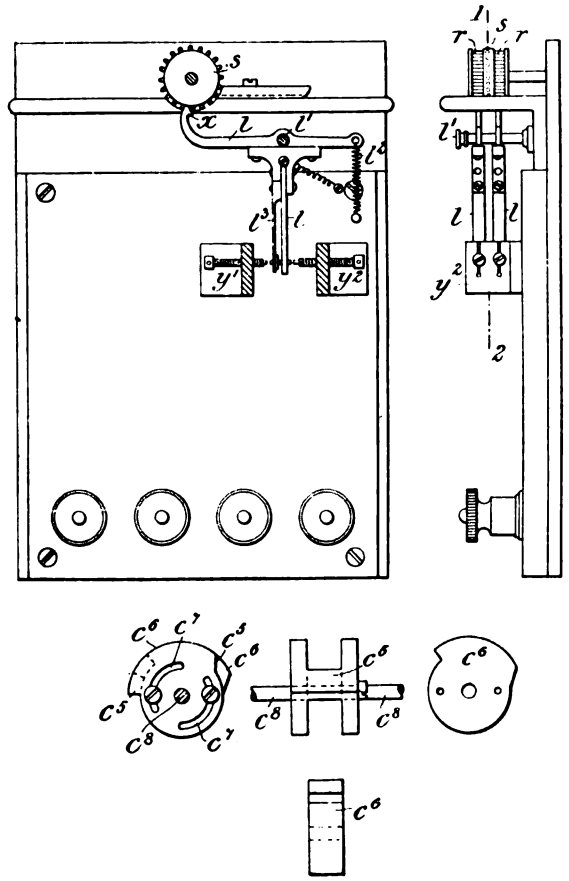


Fig. 1 à 5. — Télégraphe sous-marin Muirhead. Ensemble du récepteur, vue de face et coupe 1-2. Détail de la came c^6.

où ces trous sont bien en face des pointes x.

En figure 6 et 7 le pignon s est monté sur un axe séparé de celui des rochets rr, et les leviers ll', à rappel l_1, sont commandés par une came C, tournant de pair avec s, et qui leur fait alternativement ouvrir puis fermer sur $y_1 y_2$ leur contact à ressort l_1. La came C est constituée (fig. 3) par une came double c_5, calée sur son axe c_8, et comprenant entre ses deux joues une came c_6, réglable par les coulisses c_7, et les pointes x sont remplacées par des tiges z articulées aux leviers l.

L'axe de s entraîne avec lui deux roues à autant de contacts que de dents sur s, et disposées de manière, qu'à chaque passage d'un des leviers l au travers des trous du papier, la roue correspondante ferme par son contact le circuit d'une pile sur z. On peut, pour simplifier

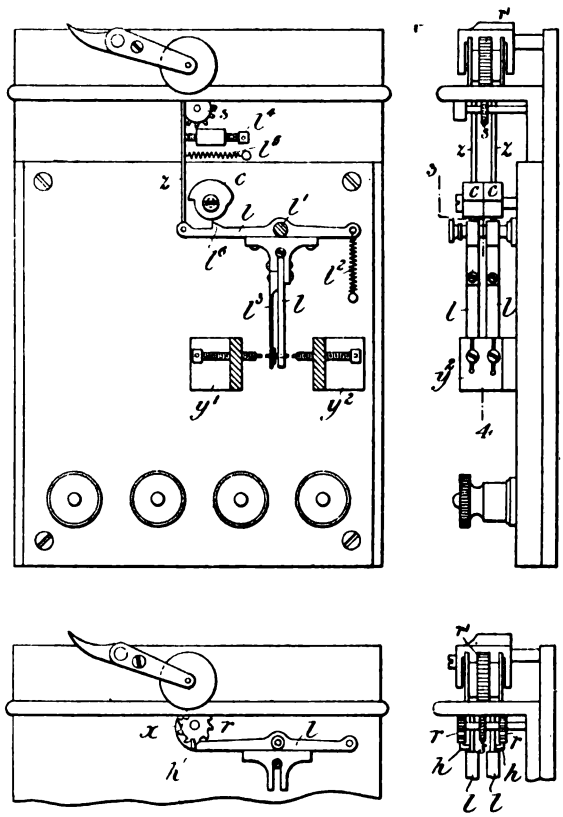


Fig. 6 à 9. — Variante. Ensemble du récepteur, vue de face, coupe 3-4. Détail des rochets r.

leur construction, monter ces roues sur des axes faisant un tour à chaque passage d'une dent de s, avec seulement deux isolants ou ruptures de contact tt (fig. 10 et 11) pour chacune de ces roues ww. Leurs ressorts de contact pp sont reliées aux bornes yy_1 (fig. 12) du transmetteur et réglés par la vis T.

Quand on veut envoyer les courants au câble directement par les leviers l du transmetteur, on dispose les roues de manière à faire les contacts à la fois à la pile B et à la terre, et que

Digitized by Google

leurs coupures *t*, qui séparent leurs contacts de terre et de pile passent sous les ressorts *p* au

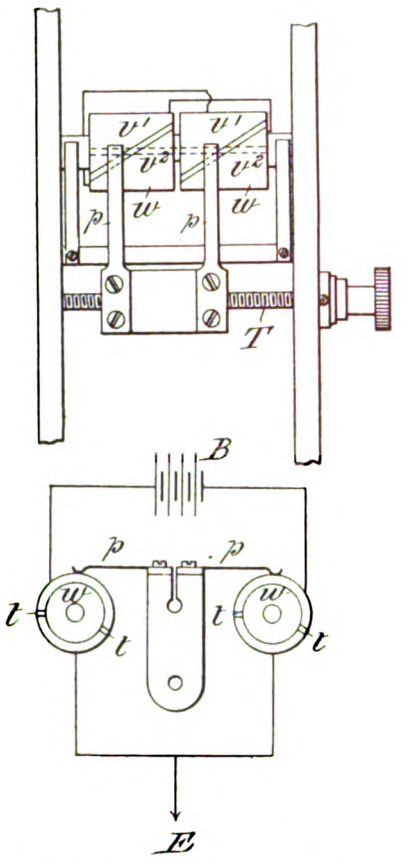


Fig. 10 et 11. — Variante simplifiée.

moment même où les trous du papier sont en face des pointes *x*.

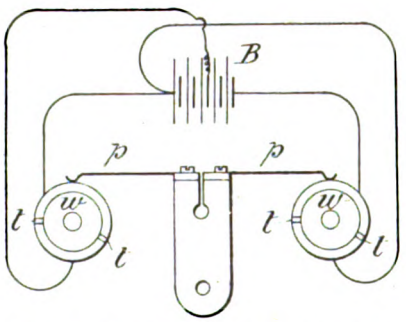


Fig. 12. — Schéma des circuits figure 11.

Avec la disposition (fig. 12) à chaque tour des roues *w*, ou passage d'un trou de papier, les ressorts *pp* reçoivent d'abord, pendant le premier demi-tour, tout le courant de la pile P, puis, pendant le second demi-tour, une partie seulement de ce courant, et en sens contraire, de manière à accélérer le plus possible les transmissions.

En figure 13 et 14 les ressorts *pp* peuvent

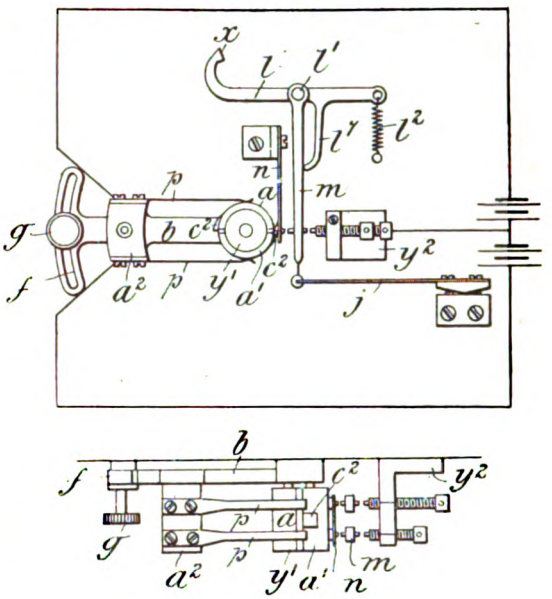


Fig. 13 et 14. — Type accéléré.

se régler, par *bgf*, sur le tambour *y'*, à contact, *a* et *a'*, et à butée c_2, limitant l'amplitude de l'oscillation du bras *m* de *l* entre c_2 et la butée fixe y_2. *y'* tourne synchroniquement avec *s*, d'un tour par dents de *s*, comme en figure 1, et les contacts de *m* sur c_2 et y_2 sont assurés par la poussée réversible du galet qui termine le ressort *y*, et l'intermédiaire du ressort *n*, perpétuellement appuyé sur *y'* de manière à maintenir c_2 toujours parfaitement décapé.

G. R.

Le tableau de distribution de la station centrale de Baltimore [1].

La figure ci-jointe représente l'aspect d'un des tableaux de distribution de la nouvelle

[1] *The Electrical Engineer* de New-York, 24 avril 1895, p. 365.

Digitized by Google

station de Baltimore; c'est celui qui est destiné à l'éclairage par incandescence. Il est en marbre d'Italie, et construit entièrement de matériaux incombustibles. Il est haut de deux étages; la partie inférieure contient les commutateurs des grandes machines et la partie supérieure les appareils de contrôle des différents circuits de distribution. Ce tableau a une capacité de 120 000 lampes. Les câbles qui y aboutissent ou en partent sont disposés dans des conduits souterrains. Le prix de revient de ce tableau n'est pas moindre de 100 000 francs.

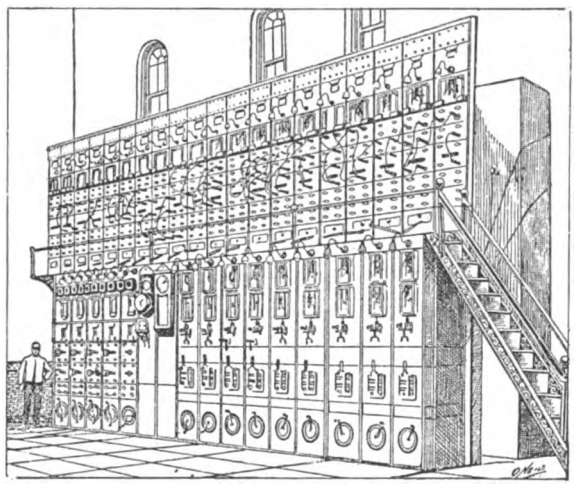


Fig. 1. — Tableau de distribution de la station centrale de Baltimore.

Il y a un autre tableau spécial pour l'éclairage à arc. Il est construit aussi en marbre, et peut contrôler 4 000 lampes de 2 000 bougies.

Les dynamos, au nombre de 4, sont des alternateurs biphasés de Westinghouse. Chacune a une capacité de 15 000 lampes de 16 bougies. Ce sont aussi des machines qui peuvent compter parmi les « plus grandes » qui existent. Elles sont accouplées directement à des moteurs verticaux de Westinghouse. Chaque groupe pèse 139 tonnes; les armatures seules pèsent près de 21 tonnes.

L'intention des organisateurs est de pouvoir éventuellement alimenter les lampes à arc et les moteurs par le courant biphasé en employant des moteurs biphasés de Tesla.

L'installation actuelle pour l'éclairage à arc comprend 18 machines Brush de 65 lampes et 5 machines Westinghouse de 80 lampes. Ces machines sont entraînées par courroies.

Deux génératrices à courant continu, de 60 chevaux chacune, fournissent le courant nécessaire à l'excitation, à la manœuvre des appareils mécaniques, ascenseurs, presses d'imprimerie, machines-outils, qui sont employés dans l'intérieur de la station.

G. P.

Curieux phénomènes électriques dans le vide.

Un correspondant du *The Electrician*, de Londres, signale à ce journal un curieux phénomène dont il demande l'explication.

Après l'incandescence produite dans un tube vide au moyen d'une machine Wimshurst, il a observé que, si l'on arrête la machine et qu'on en éloigne le tube de quelques mètres, en l'emportant même en dehors de la pièce où elle se trouve, le tube continue à être incandescent pendant une ou deux minutes. Dans certains cas il semble obscur, mais en plaçant la main immédiatement autour de l'ampoule centrale, on y voit apparaître une incandescence subite, et en changeant la main de place de manière à envelopper une autre portion de l'ampoule on détermine encore une ou deux décharges incandescentes. De même, si l'une des extrémités du tube est reliée à une des bornes de la machine, tandis qu'on le tient à la main, on voit apparaître l'aigrette incandescente habituelle, mais elle s'arrête à la main. Si, après arrêt de la machine et éloignement du tube, on touche avec la main disponible l'une de ses extrémités, on ressent une forte secousse. Ces divers effets sont extrêmement beaux quand on les observe dans une pièce complètement noire. Des ondes lumineuses partent souvent des deux extrémités du tube vers son milieu. En plusieurs circonstances il a été remarqué un petit nuage lumineux tourbillonnant à l'intérieur de l'ampoule centrale du tube et accompagné d'un faible mais distinct craquement. On peut aussi maintenir le tube contre le con-

Digitized by Google

ducteur de la machine, de manière à obtenir une décharge (analogue à celle d'une bouteille de Leyde) à intervalles réguliers entre une de ses extrémités et la partie extérieure du tube qui se trouve en contact avec la machine.

Le phénomène paraît devoir être attribué à ce que le verre du tube agit comme diélectrique, mais il serait bon d'en avoir une explication complète. N'y a-t-il pas là électrisation de celui qui a tenu le tube pendant l'opération dans le voisinage de la machine, et phénomène de condensation? Il serait intéressant de voir ce qu'il en adviendrait si le tube passait en d'autres mains dans la chambre voisine.

E. B.

Représentation des courants périodiques en coordonnées polaires, par J.-A. Fleming (1).

Deux méthodes de représentation graphique des courants ou forces électromotrices périodiques sont d'usage fréquent, savoir les diagrammes circulaires et la représentation des ondes en coordonnées rectangulaires. Il y a toutefois comme troisième méthode présentant quelquefois une grande utilité, la représentation en coordonnées polaires.

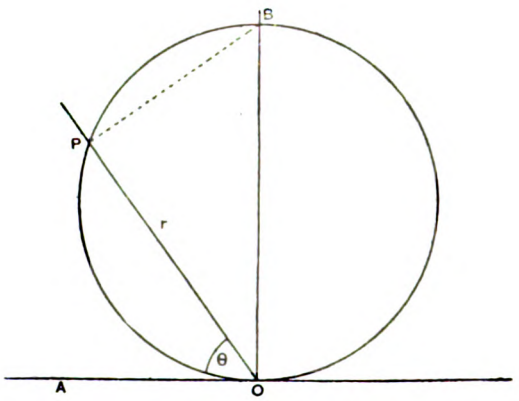


Fig. 1.

Faisons tourner un rayon OP (fig. 1) autour de son extrémité O, et appelons θ l'angle dont il a tourné par rapport à une droite fixe OA. La distance r du point P au pôle O varie suivant une loi quelconque le reliant à l'angle θ. Le point P décrit alors la courbe polaire de la fonction.

Supposons que OP passe par un cycle de valeurs débutant avec une valeur nulle pour $\theta = 0$ et, après avoir atteint un maximum, revenant à zéro après une demi-révolution, c'est-à-dire pour $\theta = \pi$, le diagramme polaire sera alors une courbe fermée passant par l'origine. On peut, par exemple, faire varier OP comme sin θ en faisant

$$r = R \sin \theta,$$

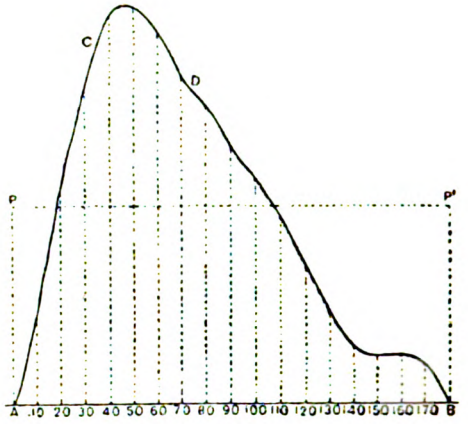


Fig. 2.

et, dans ce cas, la courbe polaire est un cercle, ce qui résulte immédiatement de la construction (fig. 1).

Si la force électromotrice ou le courant est périodique, mais non une sinusoïde simple, la courbe polaire est encore une courbe fermée passant par O, mais non un cercle. La courbe polaire donne un moyen facile de déterminer la racine carrée de la moyenne des carrés de ses valeurs, détermination plus difficile dans les autres modes de représentation.

Supposons, par exemple, une onde de la forme indiquée par la figure 2. Pour trouver la valeur efficace de la grandeur variable, il n'y a pas d'autre moyen que de mesurer un grand nombre d'ordonnées équidistantes, de les élever au carré, et de chercher la racine carrée de la moyenne de ces carrés. C'est là

(1) *The Electrician*, 10 mai 1895.

Digitized by Google

une opération laborieuse et d'autant plus longue que la courbe est de forme plus irrégulière.

Avec la courbe polaire, la détermination est plus commode. La figure 3 représente en coor-

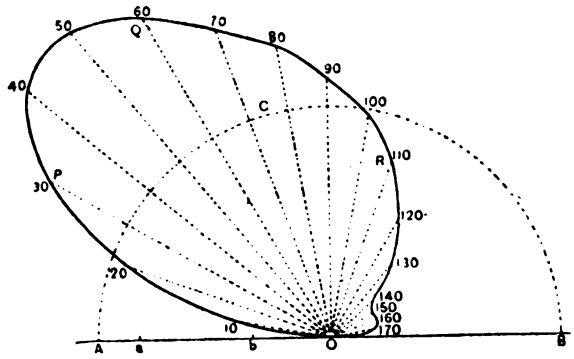


Fig. 3.

données polaires la même fonction périodique que la figure 2. Les rayons indiqués en pointillé sont entre eux à des distances angulaires de 20 degrés. Si l'on fait tourner le rayon OP (fig. 4) d'un petit angle $d\theta$, en même temps qu'il s'allonge d'une petite quantité dr, l'ac-

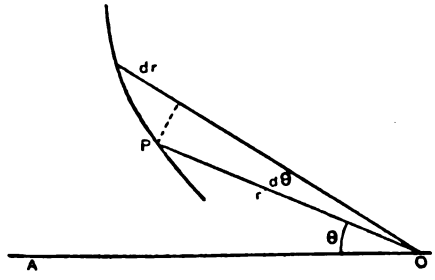


Fig. 4.

croissement superficiel correspondant est égal à $\frac{1}{2} r^2 d\theta$. Pour obtenir la surface totale de la courbe OPQR nous devons intégrer cette quantité de o à π :

$$S = \frac{1}{2}\int_0^{\pi} r^2 d\theta.$$

Sur la droite origine OA, décrivons autour du pôle O un demi-cercle de même surface que la courbe polaire et de rayon R; alors

$$\frac{\pi R^2}{2} = A = \frac{1}{2}\int_0^{\pi} r^2 d\theta.$$

ou

$$R = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} r^2 d\theta}.$$

Cette expression représente, comme on le voit, la racine carrée de la moyenne des carrés de la quantité périodique r.

Il suffit donc de mesurer la surface de la courbe donnée et de chercher le rayon du demi-cercle ayant même surface. L'opération analogue effectuée sur la courbe en coordonnées rectangulaires donne la valeur moyenne des ordonnées et non la valeur appelée efficace quand il s'agit de courants ou de forces électromotrices. A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Électrisation de l'air et des gaz par leur passage à travers l'eau ou d'autres liquides, par Lord Kelvin, Magnus Maclean et Alexander Galt (1).

Les auteurs commencent par rappeler les diverses expériences qu'ils avaient déjà communiquées à la dernière réunion de l'Association Britannique, à Oxford, expériences que nous avons décrites dans ce Journal (2) et dont les résultats peuvent être résumés comme suit :

1° Lorsqu'on fait passer un courant d'air dans un tube de verre en U, isolé électriquement, dont l'une des branches est remplie de ponce sulfurique ou de chlorure de calcium, cette ponce ou ce chlorure prend une électrisation positive capable d'augmenter son potentiel de 9 volts environ en trois quarts d'heure et qui paraît commencer soudainement au moment où l'air commence à glouglouter dans le liquide qui se rassemble peu à peu dans la courbure du tube.

(1) *Proceedings of the Royal Society*, t. LVII, p. 335-346.
(2) *L'Eclairage Electrique*, t. II, p. 92 ; 12 janvier 1895.

Digitized by Google

2° Lorsqu'on fait l'expérience en plaçant dans le tube de la pierre ponce imbibée d'eau, on n'observe aucun phénomène d'électrisation.

Les nouvelles expériences montrent que le passage des bulles d'air à travers le liquide est indispensable à la production de la charge électrique et que quand ce passage a lieu l'électrisation se produit même lorsque le liquide est de l'eau.

En effet, si l'on remplace le tube en U par un tube droit contenant de la ponce sulfurique, de la ponce imbibée d'eau ou du chlorure de calcium, l'électromètre, relié par un fil de platine au contenu du tube n'accuse aucune variation de potentiel une demi-heure après qu'on a commencé à faire passer l'air dans le tube. Cependant si le chlorure de calcium est d'abord porté à 180° ou 200° et placé encore chaud dans le tube, l'insufflation de l'air produit une forte électrisation positive ; si l'on décharge alors l'électromètre et qu'on recommence l'insufflation on observe une nouvelle électrisation. Mais après une seconde décharge de l'électromètre, le chlorure de calcium se comporte toujours comme la ponce sulfurique et la ponce humide : il n'y a plus électrisation.

D'autre part les expériences suivantes indiquent bien que même avec l'eau il y a électrisation quand l'air passe bulle à bulle dans le liquide. Celui-ci est contenu dans un vase de verre reposant sur un morceau de paraffine disposé au fond d'un vase cylindrique en métal servant d'écran électrique. Un peu au-dessous de la surface du liquide débouche un tube de verre relié au tube de la soufflerie par l'intermédiaire d'un cylindre creux de paraffine qui assure l'isolement. Un fil de platine plongeant dans le liquide est relié à un électromètre dont la cage est mise en communication avec l'écran métallique qui entoure le vase. Dès qu'on fait fonctionner la soufflerie on constate que le liquide du vase se charge positivement.

Ces dernières expériences, montrant que l'eau se charge positivement quand elle est traversée par un courant d'air, conduisent à cette conclusion que l'air s'électrise négativement dans ces conditions. Les auteurs ont voulu vérifier directement cette conclusion.

Dans ce but ils se servirent de l'appareil déjà décrit dans une communication récente (1). Cet appareil se compose d'une vaste cuve de tôle reposant, la partie ouverte en bas, sur une grande auge circulaire, en bois doublé de plomb, contenant de l'eau. Au milieu de cette cuve vient déboucher un tube métallique qui traverse la paroi supérieure de la cuve dont il est isolé par un cylindre de paraffine et qui aboutit à un réservoir plein d'eau également isolé. Ce tube est relié à un électromètre dont la cage est reliée à la cuve sur laquelle il est placé ; un écran cylindrique en tôle protège l'électromètre et le réservoir, protection indispensable pour l'exactitude des lectures comme l'ont montré plusieurs essais.

Des expériences faites avec cet appareil en 1890 avaient montré que l'écoulement de l'eau par le tube situé au milieu de la cuve produit une électrisation négative graduelle de l'air ordinaire du laboratoire enfermé dans cette cuve (2) ; les expériences faites en octobre dernier confirmèrent ce fait et montrèrent en outre que la rapidité avec laquelle l'air de la cuve s'électrise est d'autant plus faible que cet air est mieux débarrassé de poussières par un long repos. Ainsi dans les premiers jours l'électromètre accusait un potentiel négatif d'environ 4 volts en trente minutes d'écoulement, tandis que vingt-deux jours après le début des expériences, faites avec la même masse limitée d'air, le potentiel restait voisin de zéro après plusieurs heures d'écoulement.

A la suite de ces expériences, préliminaires, les auteurs insufflèrent de l'air dans la cuve en le faisant barboter dans l'eau contenue dans le bac où elle reposait ; l'électromètre accusait

(1) Lord Kelvin et Magnus Maclean, *Phil. Mag.*, t. XXXVIII, p. 225 ; 1894. — *L'Eclair. Elect.*, t. I, p. 568.

(2) Maclean et Goto, Electrification of Air by a Water Jet, *Phil. Mag.* t. XXX, p. 148, août 1890.

Digitized by Google

alors une électrisation négative qui atteignait 5 volts en douze minutes.

Dans une autre série d'expériences ils insufflèrent directement dans la cuve de l'air ayant passé à travers un tube en U contenant de l'eau; la moyenne de quinze expériences donna une électrisation de 8,5 volts en vingt-cinq minutes. En faisant passer l'air successivement dans deux tubes en U ils ne remarquèrent pas d'accroissement de la vitesse d'électrisation. Dans quelques expériences ils interposaient entre la soufflerie et le tube en U une série de toiles métalliques; dans ces conditions ils observèrent les mêmes phénomènes d'électrisation. Mais quand ces toiles étaient placées entre le tube en U et la cuve, l'air pénétrant dans celle-ci était ramené presque à l'état neutre; cet effet était surtout marqué quand on remplissait de coton les intervalles que laissaient entre elles les toiles métalliques; il était encore sensible, bien que faible, quand on n'employait qu'une seule toile métallique.

Les expériences précédentes ayant l'inconvénient de demander beaucoup de temps à cause de la nécessité de renouveler complètement l'air de la cuve après chacune d'elles, les auteurs revinrent à la disposition employée dans les premiers essais : passage de l'air ou d'un autre gaz à travers un liquide contenu dans un vase isolé et mesure du potentiel que prend ce liquide.

Pour éviter les projections du liquide hors du vase, un disque de cuivre mince, laissant entre ses bords et les parois du vase un espace annulaire de 3 mm. de largeur, était placé à 3 cm. environ au-dessus de la surface du liquide; les auteurs s'étaient préalablement assurés que dans ces conditions l'écran n'avait aucune influence sur l'électrisation obtenue. Ils firent de cette façon de nombreuses expériences avec de l'air barbotant dans l'eau et divers liquides, puis avec différents gaz barbotant dans l'eau. Ces expériences avaient toutes une durée de dix minutes; elles donnèrent les résultats suivants :

Avec l'eau, la moyenne de dix-sept expériences donna un potentiel positif de 4 volts au bout de 10 minutes.

Avec une solution très étendue de sulfate de zinc, obtenue en mettant une goutte d'une solution saturée de ce sel dans 150 cm³ d'eau, l'électrisation était environ la moitié de celle que donnait l'eau pure. Une solution plus concentrée, obtenue en mettant cinq gouttes de la solution saturée dans la même quantité d'eau, ne donnait pas d'électrisation bien définie; pour des solutions plus concentrées l'électrisation était faible et généralement négative.

Une goutte d'ammoniaque ajoutée à de l'eau pure, réduisait l'électrisation à la moitié de ce qu'elle était avec de l'eau pure; une addition de deux gouttes réduisait l'électrisation au quart; des solutions plus concentrées donnaient une faible électrisation positive.

Avec l'acide sulfurique on observait une électrisation positive dont la grandeur allait en décroissant à mesure que la concentration augmentait.

Avec l'acide chlorhydrique l'électrisation était *négative* et allait en croissant quand la concentration augmentait.

Les solutions concentrées de chlorure de ne donnèrent rien; les solutions à 50 p. 100 et les solutions plus étendues donnèrent une électrisation négative.

La présence de gaz carbonique dans l'eau diminue la rapidité de l'électrisation positive observée avec l'eau pure. Le même fait se produit quand on ajoute à l'eau quelques gouttes d'huile de paraffine, de benzine, d'acide phénique, de solutions concentrées de sel marin et de sulfate de cuivre.

Le passage du gaz carbonique dans l'eau produit une électrisation positive de cette eau marquée par une élévation de potentiel de 8,5 volts en 10 minutes; avec l'oxygène l'élévation de potentiel pendant le même temps n'est que de 0,5 volt et avec le gaz d'éclairage de 1,4 volt.

Avec l'hydrogène puisé dans un gazomètre on observa une augmentation de potentiel de 2 volts en deux minutes; quand on faisait

Digitized by Google

passer directement l'hydrogène du flacon où il était produit dans l'eau du vase isolé l'augmentation de potentiel était très rapide (plus de 10 volts souvent en 30 secondes). Dans quelques expériences on produisait l'hydrogène dans le vase isolé lui-même en mettant dans ce vase de la grenaille de zinc et de l'acide sulfurique étendu; on avait alors une électrisation tantôt positive, tantôt négative.

En terminant, les auteurs font observer que dans ces diverses expériences l'électrisation ne commençait à être sensible qu'une minute environ après le commencement du passage du gaz mais qu'elle continuait à croître quelques minutes après l'interruption du courant gazeux. Ils pensent que les phénomènes étudiés par Lénard (1) dans son mémoire sur l'électricité des chutes d'eau et par J.J Thomson (2) dans son travail sur l'électricité des gouttes se rattachent étroitement à ceux qui viennent d'être exposés.

J. B.

Miroirs de magnétisme,
par Sylvanus P. Thompson et Miles Walker (3).

Au problème électrostatique des *images électriques* correspond, en magnétisme, un problème absolument analogue, celui des *images magnétiques*. Mais tandis que le premier a été l'objet de nombreux et intéressants travaux, le second s'est trouvé jusqu'ici presque complètement négligé. Cette négligence est d'autant plus regrettable que, suivant les auteurs, les images magnétiques paraissent pouvoir rendre des services importants dans diverses questions pratiques relatives aux dynamos, aux appareils de protection magnétique et à la solution du problème commercial de la recherche des propriétés magnétiques du fer en masse.

L'existence des images magnétiques peut être démontrée très simplement et sans le secours des mathématiques.

Prenons un solénoïde traversé par un courant et appliquons l'une de ses extrémités contre une plaque de fer de grandes dimensions. Nous éliminons ainsi l'effet de cette extrémité sur la distribution du champ autour de la bobine et nous obtenons du côté de la plaque où se trouve le solénoïde le même champ que si, la plaque étant enlevée, nous avions prolongé le solénoïde au delà de cette plaque de sa propre longueur. Or si nous appliquons l'une des extrémités du solénoïde contre un miroir optique, ce solénoïde donne par réflexion une image optique, et nous avons l'apparence d'un solénoïde de longueur double du solénoïde réel. La plaque de fer nous donne donc, au point de vue magnétique, une image de la bobine analogue à l'image optique prcduite par le miroir.

Au lieu d'une seule plaque de fer nous pouvons en prendre deux que nous appliquons respectivement sur les deux extrémités du solénoïde. Nous obtenons ainsi entre les plaques un champ magnétique identique à celui que l'on obtiendrait avec un solénoïde indéfini, les plaques de fer étant enlevées. Or, si l'on place contre les extrémités du solénoïde deux miroirs optiques, on obtient l'apparence d'un solénoïde indéfini. Il y a donc encore analogie entre les deux phénomènes optique et magnétique.

L'analogie se poursuit même plus loin. Pour que l'image optique donnée par un miroir puisse être confondue comme aspect avec un objet réel et puisse être vue de tous les points de l'espace situé en avant du miroir, il faut que celui-ci soit parfaitement réflecteur et ait des dimensions infinies. D'une façon analogue, pour obtenir avec un solénoïde et une plaque de fer le même champ magnétique en tous les points de l'espace situé en avant de la plaque qu'avec un solénoïde de longueur double et sans plaque, il faut que la plaque soit parfaitement perméable et ait des dimensions infinies.

Les auteurs ont fait quelques expériences

---

(1) LÉNARD. *Wied. Ann.*, t. XLVI, p. 584, 1892.
(2) J. J. THOMSON. *Phil. Mag.* t. XXXVII, p. 341. 1894. *L'Eclairage Electrique* t. I.p. 564.
(3) *Philosophical Magazine*, 5e série, t. XXXIX, p. 213-225, février 1895.

Digitized by Google

pour se rendre compte de la différence des effets que l'on obtient avec une plaque de fer ordinaire et ceux que l'on devrait théoriquement obtenir avec une plaque parfaitement perméable de dimensions infinies.

Dans ce but ils employaient deux solénoïdes identiques de 5 cm. de longueur et de 4 cm. de diamètre moyen, une petite bobine de 100 tours de fil et de 1,5 cm. de diamètre et une plaque de fer de 3,8 cm. d'épaisseur et de 92 cm. sur 61 cm. de côtés. Dans une expérience les deux solénoïdes étaient placés l'un au-dessus de l'autre de manière que l'un corresponde à l'image magnétique de l'autre; la petite bobine placée à l'intérieur ou au-dessus du solénoïde supérieur était reliée à un galvanomètre balistique; on observait les élongations de l'aiguille de cet instrument quand on lançait un courant dans les solénoïdes et quand on rompait ce courant. Dans une autre expérience on ne prenait que le solénoïde supérieur au-dessous duquel on plaçait la plaque de fer, et on observait encore l'élongation de l'aiguille du galvanomètre pour la même position de la petite bobine. Le tableau suivant donne les élongations observées avec diverses positions de cette bobine, indiquées schématiquement dans la première colonne.

La comparaison des nombres des deux dernières colonnes avec ceux des deux premières montre que la réflexion magnétique est presque parfaite et encore, d'après les auteurs, les légères divergences de ces nombres doivent surtout être attribuées aux erreurs d'observation.

Les nombres relatifs à la position de la bobine indiquée en tête du tableau est surtout intéressante car elle correspond à la partie du champ qui éprouve la plus grande variation par suite de la présence ou de l'absence de la plaque de fer. Avec un seul solénoïde et sans plaque de fer on aurait dû trouver, comme pour la position 6, une élongation de 129 divisions; or on trouvait 236.

Les auteurs font remarquer que théoriquement on devrait, quand la bobine est placée de manière à avoir son centre dans le plan de l'extrémité du solénoïde, doubler exactement la valeur de l'élongation quand on place contre cette extrémité la plaque de fer. Mais dans les expériences précédentes la mise en place de la plaque exigeait que l'on remontât un peu la petite bobine; de plus, la proximité de la plaque devait avoir une influence considérable sur les courants induits dans cette bobine. On s'explique donc que les élongations 236 et 129 ne soient pas dans le rapport de 2 à 1. En disposant le solénoïde à quelque distance de la plaque de fer, comme le représente la figure 1, de telle sorte que la petite bobine reste toujours suffisamment éloignée de cette plaque, les auteurs obtinrent des élongations conformes à ce qu'elles doivent être en admettant une réflexion magnétique parfaite du solénoïde.

Dans une deuxième série d'expériences,

TABLEAU DES ÉLONGATIONS GALVANOMÉTRIQUES OBSERVÉES

POSITIONS de la petite bobine	LES DEUX SOLÉNOÏDES sont l'un sur l'autre		UN SOLÉNOÏDE sur la plaque de fer	
	fermeture du courant	rupture du courant	fermeture du courant	rupture du courant
	236	236	236	235
	235	235	234	234
	230	230	230	229
	227	227	228	227
	204	202	204	202
	129	126	129	127
	69	67	69	68
	41	41	41	41
	24	24	24	23

Digitized by Google

MM. Thompson et Walker disposaient l'un des solénoïdes obliquement, soit par rapport à la plaque de fer, soit par rapport à l'autre solénoïde ; les figures 2 et 3 montrent clairement les deux dispositions. Les résultats obtenus avec la première, pour diverses positions de la bobine d'exploration et pour des valeurs de

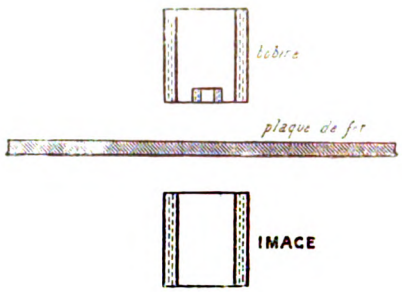


Fig. 1.

l'angle d'inclinaison variant de 0 à 90 degrés, et ceux obtenus avec la seconde pour les mêmes positions de la bobine et la même inclinaison ne présentaient pas de divergences plus grandes que celles relevées dans les précédentes expériences.

D'autres expériences furent également faites avec des solénoïdes de différentes formes, en particulier avec un solénoïde long et mince,

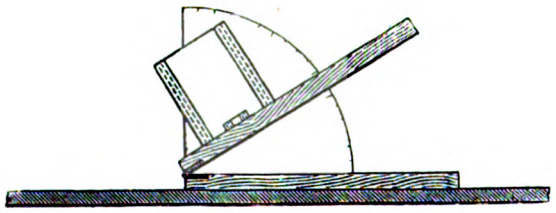


Fig. 2.

puis avec un solénoïde court et large. Dans tous les cas on observa une réflexion magnétique presque parfaite.

Il existe toutefois une différence importante avec la réflexion optique. Dans une image optique le sens des lignes perpendiculaires à la surface réfléchissante est renversé par rapport à celui des lignes correspondantes de l'objet, tandis que pour les lignes parallèles à la surface réfléchissante le sens est conservé. Ainsi, si nous disposons un aimant perpendiculairement à un miroir, le pôle de l'image dirigé vers l'observateur est, comme forme géométrique, celui de l'aimant qui se trouve le plus près du miroir. Au contraire dans la réflexion magnétique de cet aimant, un pôle de l'image agit magnétiquement comme un pôle de nom contraire à celui dont il serait l'image optique. En d'autres termes, un pôle nord d'un aimant a pour image optique un pôle nord, tandis qu'il a pour image magnétique un pôle sud.

Mais si, au lieu de considérer les pôles ma-

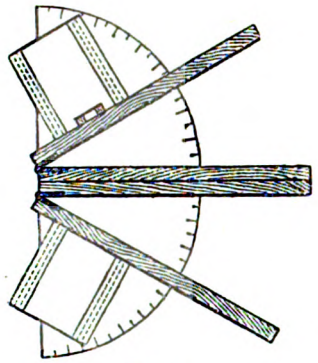


Fig. 3.

gnétiques, on considère les courants fermés auxquels ils sont assimilables pour les actions magnétiques extérieures nous retrouvons une analogie complète entre la réflexion magnétique et la réflexion optique. En effet, l'image d'un courant circulant dans un circuit parallèle au plan réfléchissant a pour image optique un courant de même sens par rapport à un observateur placé devant le miroir (fig. 4); par conséquent si l'on place un solénoïde devant un miroir, le sens du courant dans son image optique est bien tel qu'à chaque pôle du solénoïde correspond dans l'image un pôle de nom contraire. L'analogie se poursuit encore si l'on considère (fig. 5) un solénoïde dont l'axe est parallèle au miroir.

Les auteurs ont également fait quelques expériences avec un solénoïde suffisamment long pour que, dans certaines conditions, on

Digitized by Google

puisse négliger l'effet de l'un des pôles par rapport à celui de l'autre et obtenir ainsi en quelque sorte un pôle magnétique isolé. Ce solénoïde avait 2 m. de long et 1,5 cm. de diamètre ; le fil qui le formait faisait 12 tours par

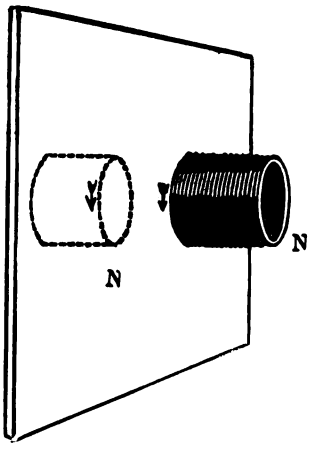


Fig. 4.

centimètre ; avec un courant de 15 ampères l'intensité magnétique des pôles était de 40 unités C. G. S. environ. Quand l'un des pôles était placé à 6 cm. de la plaque de fer le champ magnétique dans le voisinage de cette plaque était, comme le veut la théorie, à très peu près le double de ce qu'il était lorsque la plaque était enlevée. Pour des distances

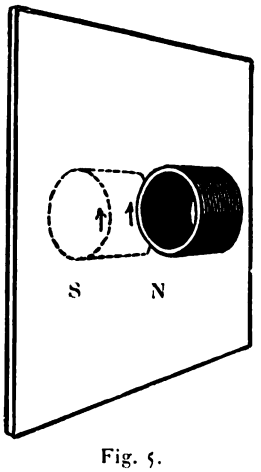


Fig. 5.

plus grandes de la plaque et du pôle l'intensité du champ devenait trop faible pour pouvoir être mesurée avec une précision suffisante.

Dans ces expériences, ainsi que celles que nous rapportions plus haut, la réflexion magnétique s'effectuait sur une surface plane. Dans la dernière partie de leur Mémoire MM. Thompson et Walker examinent à quelles conséquences conduit la théorie des images magnétiques lorsqu'on considère la réflexion sur une surface sphérique.

Soient A et B (fig. 6) deux points où se trouvent placés deux pôles magnétiques ayant respectivement pour intensités $+m_1$ et $-m_2$. Le potentiel magnétique en C est

$$\frac{m_1}{r_1} - \frac{m_2}{r_2}.$$

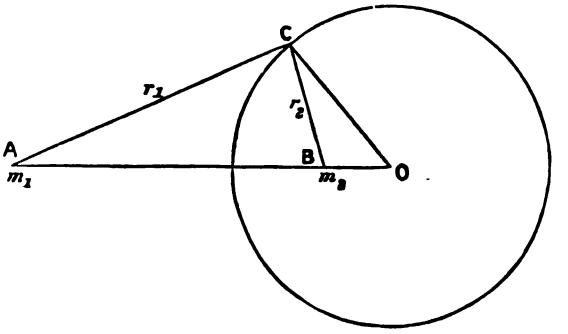


Fig. 6.

Le lieu des points dont le potentiel est zéro est donc défini par la condition

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{m_1}{m_2} = \text{const.}$$

On sait que les points satisfaisant à cette condition appartiennent à une sphère dont le centre O est tel que

$$\frac{AO}{OC} = \frac{m_1}{m_2}.$$

Par conséquent, m_1 étant donné, nous pouvons facilement calculer l'intensité m_2 d'un pôle qui placé en B produit avec m_1 un potentiel nul en tout point d'une surface sphérique donnée.

Considérons maintenant un pôle d'aimant A d'intensité $+m_1$ et plaçons-le dans le voisinage d'une sphère formée d'une substance de très grande susceptibilité magnétique et dont le rayon est très grand par rapport à la dis-

Digitized by Google

tance du pôle à la sphère. La distribution du champ magnétique en dehors de la sphère sera la même que si, cette sphère étant enlevée, on plaçait en B un pôle d'intensité $-m_1 \frac{OC}{AO}$. Nous pouvons donc dire que la sphère agit comme un miroir convexe et donne en B une image réduite du pôle A.

Il est facile de s'assurer que cette manière de voir est conforme à ce qui a été dit à propos de la réflexion sur une plaque plane. Il suffit en effet, pour passer à ce dernier cas, de supposer le rayon de courbure infini ; on a alors $\frac{OA}{OC} = 1$ et par conséquent

$$m_2 = -m_1 \quad \text{et} \quad r_2 = r_1.$$

Si l'on désigne par u la distance du pôle A, par v la distance de son image magnétique à la sphère, et par r le rayon de cette sphère, on trouve facilement

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{r}.$$

Cette formule ne diffère de la formule classique de la réflexion sur les miroirs sphériques qu'en ce que le numérateur du terme du second membre est 1 au lieu de 2. Ainsi donc la position de l'image magnétique d'un pôle placé devant un miroir sphérique est la même que celle de l'image optique du même pôle placé devant un miroir ayant même sommet mais dont le rayon serait double.

J.-B.

CHRONIQUE

Application du chauffage électrique. — Au cours de l'hiver dernier, les habitants de Londres ont eu maints désagréments causés par la rupture des canalisations d'eau sous l'influence du froid exceptionnel. Un ingénieur, M. Edwards, a eu l'idée de se servir du courant électrique pour empêcher la congélation de l'eau. A cet effet, il a introduit dans les tuyaux des fils métalliques couverts d'un enduit isolant pour l'électricité, mais laissant passer la chaleur. Aux époques de grands froids il faisait passer dans ces fils un courant, et la chaleur dégagée suffisait à éviter les ruptures. Un courant de 4 ampères a permis de faire dégeler en cinq minutes des tuyaux de grosseur moyenne.

Usine électrique de la Goule. — Une usine électrique importante vient d'être inaugurée à la Goule, dans le Jura bernois. La prise d'eau se trouve sur le territoire français, ce qui ne manque pas d'originalité. Nous empruntons à l'*Industrie électrique* les détails suivants sur cette intéressante installation : Un barrage établi sur le Doubs a permis d'amener l'eau à une chambre où commence la conduite sous pression. Jusqu'à la chambre à eau, le canal ne présente qu'une différence de niveau de 0 m. 50, tandis que le Doubs se trouve 27 mètres plus bas. Le canal sous pression aboutit, après un parcours de 92 mètres, au local des turbines. La vitesse de l'eau est de 1 m. 98 par seconde, le volume débité est de 8,430 mètres cubes pendant le même temps.

La puissance motrice dont on dispose est donc de 3 000 chevaux-vapeur environ. Trois turbines sont mises en jeu. Jusqu'à maintenant, la compagnie restreint l'arrivée d'eau de façon à n'utiliser que 1 500 chevaux environ. L'énergie mise sous forme électrique au moyen de dynamos est transportée dans les communes voisines. Une ligne principale amène le courant au Noirmont ; de là partent deux bifurcations, l'une va sur les Bois, l'autre sur les Breuleux, ici une nouvelle bifurcation dessert Villeret, Renans et Souvillers.

Le service de l'usine électrique sera pour ainsi dire continuel, puisque l'on n'arrêtera les machines que pendant une demi-heure par jour (entre midi et midi et demi) pour le nettoyage.

Le service actuel est fait par deux machines de 500 chevaux, la troisième servant de réserve. Lorsque cette troisième machine entrera en service, on procédera au montage de la quatrième turbine et dynamo.

La téléphonie en Hollande. — L'expiration de la concession accordée à la Compagnie Bell étant proche, le collège échevinal d'Amsterdam s'est décidé à faire l'exploitation du réseau téléphonique par la commune et vient de demander au conseil communal le vote nécessaire.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie I. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Digitized by Google

Tome III. Samedi 22 Juin 1895. 2e Année. — N° 25

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DU CANAL DE KIEL ENTRE LA BALTIQUE ET LA MER DU NORD

Nous devons à l'obligeance de M. C. Coerper, directeur de la Compagnie « Hêlios », de Cologne-Ehrenfeld, les détails suivants sur cette importante entreprise, dont l'inauguration est à peine terminée à l'heure où nous écrivons.

L'industrie électrique n'avait pas encore eu à satisfaire jusqu'ici à un programme aussi vaste que celui de l'éclairage du canal Baltique-Mer du Nord (fig. 1). On a bien transporté le courant électrique entre des points plus éloignés l'un de l'autre, pour l'utiliser au lieu d'arrivée soit comme transmission d'énergie, soit comme éclairage. Dans cet ordre d'idées le problème relativement simple, dont la première solution couronnée de succès remonte déjà à 1892, époque où la Société Ganz, de Budapest, réalisa sur une longueur de 28 km. un transport d'énergie empruntée au cours de l'Anio à Tivoli près de Rome, était loin de présenter les mêmes difficultés que l'éclairage du canal Baltique-Mer du Nord sur toute sa longueur. Il est facile de transporter et de régler en un point donné un courant électrique; mais autre chose est d'actionner un grand nombre de lampes en série à grandes distances les unes des autres dans des conditions de sécurité et d'économie d'exploitation et d'installation.

La Société Hêlios, de Cologne-Ehrenfeld, qui, seule en Allemagne, exploite depuis dix ans le système alternatif avec transformateurs, tant comme construction que comme applications, était en situation de résoudre complètement le problème posé.

Il ne s'agissait pas seulement d'éclairer la ligne du canal elle-même, mais de satisfaire également aux besoins de lumière des écluses, ports, bassins, bâtiments et phares situés sur son parcours, et le programme comportait les clauses suivantes :

1° Installation de deux centres d'exploitation, l'un à Holtenau (1), l'autre à Brunsbüttel.

2° Emploi de machines et appareils fonctionnant dans les conditions les plus sûres et les plus économiques, avec prévision de réserve complète.

3° Maintien automatique d'une tension constante dans les deux stations, quelles que pussent être les variations de charge.

4° Indépendance absolue de chaque foyer, de telle sorte que l'extinction d'un grand nombre d'entre eux n'exerçât aucune influence sur le reste de l'exploitation.

(1) Ce point ne figure pas sur la carte. C'est une localité voisine où débouche le canal.

Digitized by Google

5° Exclusion de tous les expédients incertains tels que régulateurs en circuit principal, isolement à l'huile, etc.

Voici comment a été réalisé ce programme : Aux deux écluses d'Holtenau et de Brunsbüttel avaient été montées des stations mécaniques destinées à l'utilisation de la pression hydraulique pour la manœuvre des portes d'écluses et des cabestans, plus une batterie de chaudières en vue de l'installation électrique. En conséquence les bâtiments affectés aux machines électriques ont été édifiés à côté de ces stations centrales (fig. 2 et 3).

Chacune de ces installations contient deux dynamos à vapeur à allure lente, du type produit pour la première fois par la Compagnie

Fig. 1. — Carte de la région.

Hélios et maintes fois déjà appliqué depuis 1886. Ces machines ne tournent qu'à 85 tours par minute et développent chacune jusqu'à 200 chevaux. Ce sont des machines tandem à distribution par soupapes, des ateliers d'Augsbourg ; leurs cylindres ont 400 et 620 mm. de diamètre et 1 m. de course. A Holtenau sont montés des condenseurs par surface ; les machines peuvent néanmoins fonctionner à condensation sur l'installation hydraulique centrale ou à l'air libre.

Entre les deux paliers de la machine à vapeur et sur son arbre est monté l'alternateur, dont le système inducteur forme le volant de la machine à vapeur, tandis que la couronne induite est fixée au bâti des deux paliers. — La jante du volant est tournée et à sa périphérie sont fixés les 72 noyaux d'inducteurs formés de tôles de 1/2 mm. d'épaisseur. La fermeture complète du circuit magnétique est soigneusement assurée. L'enroulement d'excitation est maintenu par de forts sabots. Le diamètre du volant inducteur est de 4,752 m. ; la vitesse avec laquelle le flux est

Digitized by Google

coupé s'élève par suite à 20,1 m. par seconde et le nombre d'inversions de pôle, à 6120 par minute. — La couronne induite n'est pas seulement sectionnée dans le plan horizontal passant par l'axe, de manière à permettre l'enlèvement de la partie supérieure ; elle peut également se déplacer latéralement en bloc sur deux glissières, ce qui permet le libre accès des bobines inductrices et induites. Ces dernières sont d'ailleurs disposées de telle sorte que, en desserrant 4 vis, on peut les sortir par côté avec leurs noyaux. On voit dans la figure 4 ci-jointe une de ces bobines avec son noyau. On remarquera que la forme antérieure en T renversé a été abandonnée. Le fer au-dessus de la bobine est notablement

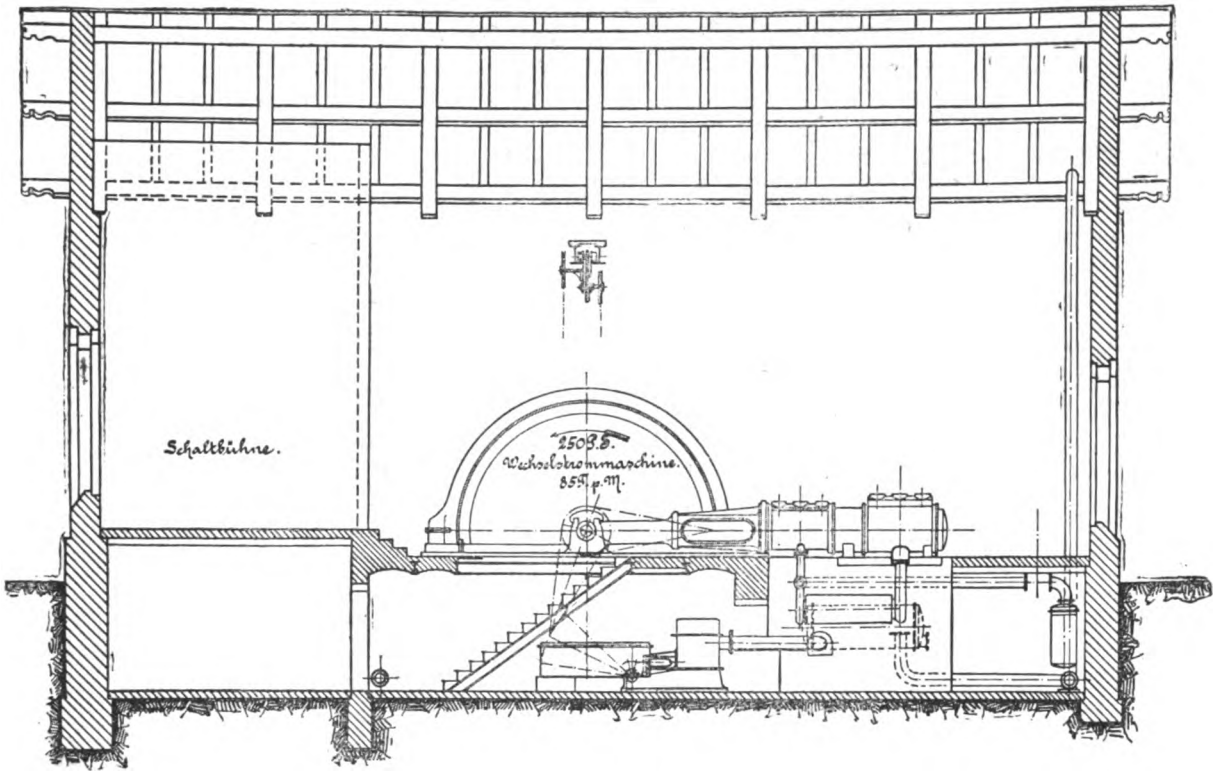


Fig. 2. — Station électrique. Élévation.

Schaltbühne : Salle de distribution. — Wechselstromaschine : Alternateur. — 250 P. S. : 250 chevaux-vapeur. 85 T. p. M. : 85 tours par minute.

élargi comparativement au noyau, de sorte que les noyaux assemblés présentent à l'action magnétique une surface coupée seulement par de très faibles entrefers. La Compagnie Hélios a produit pour la première fois cette disposition à Amsterdam en 1889. Il a été reconnu que, appliquée dans une juste mesure, elle se traduisait par une notable amélioration de la machine, sans présenter les graves inconvénients des noyaux repercés. — La f. é. m. aux bornes de l'alternateur s'élève à 2 000 volts. La courbe de courant et la proportion des rapports électriques et magnétiques sont telles que, d'une part, on a, avec 28 volts aux bornes des lampes, un fonctionnement économique des foyers, et que, d'autre part, l'influence de la différence de phase due à la distance est aussi faible que possible.

L'excitation est fournie par une machine en dérivation, à quatre pôles et à induit en disque, montée sur le bout libre de l'arbre en avant du palier extérieur. La différence de potentiel

Digitized by Google

à ses bornes est de 120 à 150 volts. Son champ se règle automatiquement par un moteur Tesla sans commutateur ni bague. Ce moteur introduit une résistance dans les inducteurs de l'excitatrice quand la tension dépasse celle de 72 volts réalisée par transformation dans la

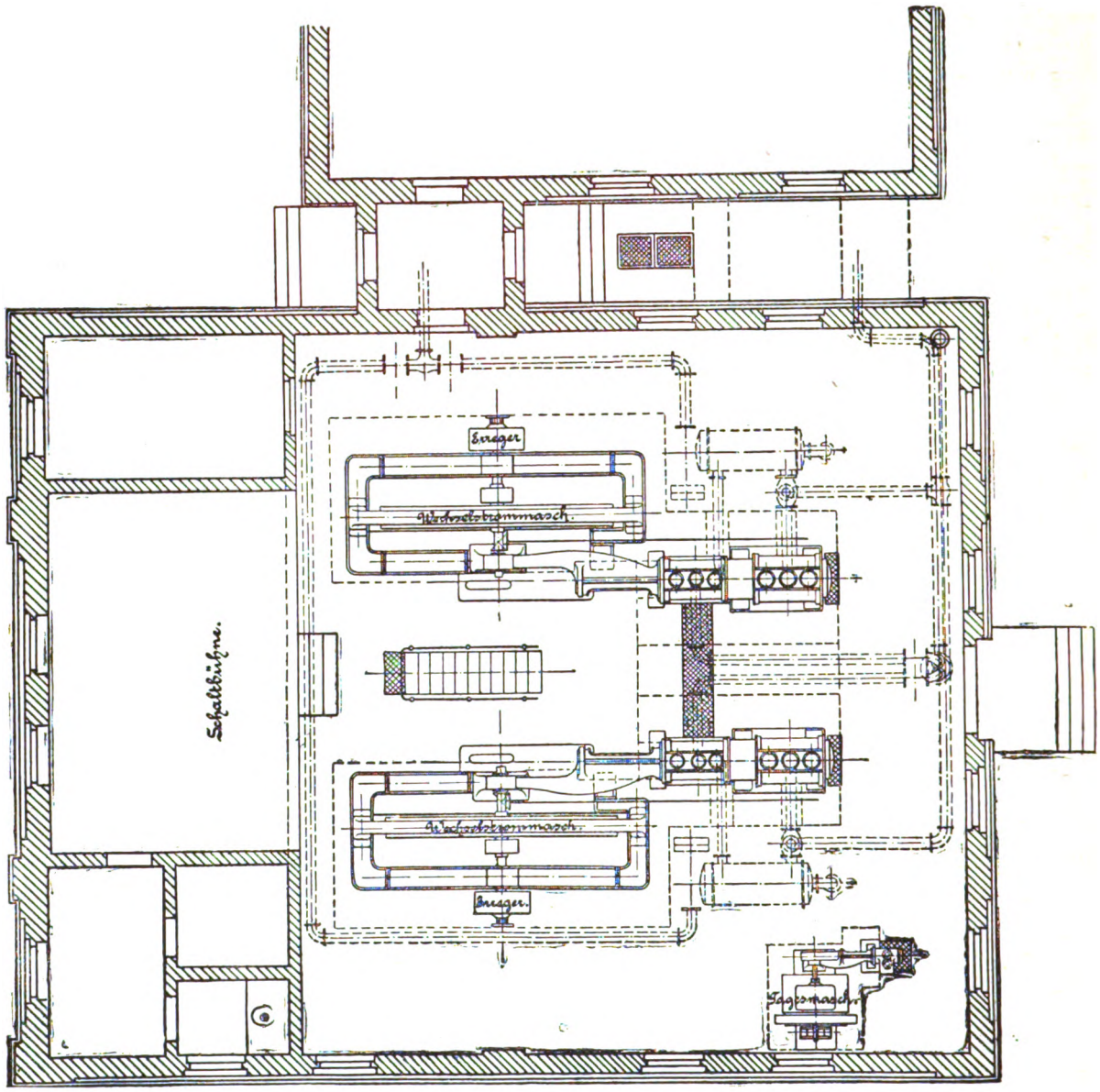


Fig. 3. — Station électrique. Plan.

Schaltbühne : Salle de distribution. — Erreger : Excitatrice. — Wechselstromaschine : Alternateur. Tagesmasch : Machine de jour.

salle des machines ; à une tension moindre, cette résistance se trouve retirée de son circuit. Ce réglage, s'effectuant par une variation d'intensité de 1 ampère au plus sur des contacts très forts, répond aux plus grandes exigences de sécurité d'exploitation.

Ces dynamos à vapeur fournissent en marche normale, avec une pression de vapeur de

Digitized by Google

6 atmosphères sur les soupapes, 100 kilowatts avec une consommation de 1 250 kg de vapeur utile dans la conduite, c'est-à-dire 1 kilowatt pour une consommation de vapeur de 12,5 kg. à l'heure.

Une seule dynamo à vapeur suffit à toute l'exploitation, aussi bien à Holtenau qu'à Brunsbüttel, de sorte que le second jeu de machines constitue une réserve complète.

Dans la dernière localité est installée, en outre, pour l'éclairage de la salle de commande des écluses pendant le jour, une petite dynamo à vapeur d'une puissance de 9 à 12 chevaux. Elle tourne à 120 tours par minute et peut également servir de réserve comme excitatrice de l'alternateur. Le cylindre de la machine à vapeur a 150 mm. de diamètre sur 350 mm. de course; l'admission s'y fait par tiroir. Elle sort également des ateliers d'Augsbourg. Elle porte sur son arbre l'induit en disque d'une machine à courant continu montée en dérivation. L'inducteur est à quatre pôles.

La manœuvre continuelle des portes d'écluses à Brunsbüttel pendant la journée a rendu indispensable l'installation de cette petite machine ; il n'eût pas été économique, en effet, de faire marcher les grandes machines pour un éclairage aussi peu important que celui des chambres de machines dans les substructions des écluses. A Holtenau, au contraire, les portes d'écluses n'étant guère manœuvrées que vingt-cinq jours par an, il était inutile d'y installer une petite machine de jour.

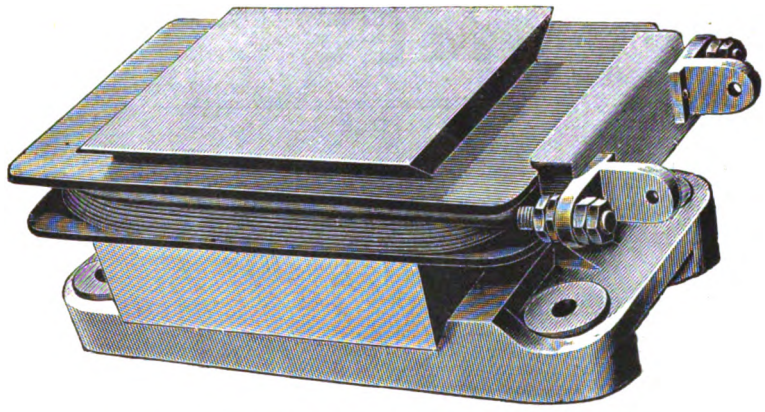


Fig. 4. — Bobine d'induit avec son noyau et son assise.

Les dispositifs de manœuvres électriques, toutes effectuées mécaniquement, diffèrent notablement de ceux appliqués par la Compagnie Hélios dans les grandes stations centrales de Cologne, d'Amsterdam, et dans celle en cours d'exécution à Dresde. Leur apparence extérieure est digne de l'installation ; le bâti, de style renaissance, est en bronze doré d'un travail très soigné. Les appareils eux-mêmes (fig. 5) sont actionnés par une forte manivelle et établissent régulièrement les connexions sur les deux pôles. L'isolement est toujours triple et formé de porcelaine et de deux plaques d'ébonite. Leur ensemble est éprouvé à 10 000 volts. Les instruments de mesures sont tous montés sur marbre blanc et ébonite ; ils permettent de lire à chaque instant non seulement la tension et l'intensité de courant de l'excitation, mais aussi la tension et l'intensité du courant alternatif, et, en outre, la puissance utile fournie. Les résistances de charge pour la mise en parallèle sont établies en fil de nickeline guipé d'amiante ; elles sont intercalées et retirées au moyen d'un jeu d'orgue. Les phases sont indiquées, non seulement par les deux lampes montées sur un transformateur alimenté par les deux machines, mais aussi par un indicateur de phases. Cet indicateur se compose d'un disque mobile devant deux pôles d'électro-

Digitized by Google

aimant monté sur les deux machines. Quand les phases des deux machines sont en concordance, le disque reste immobile ; dans le cas contraire, le disque suit, dans un sens ou dans l'autre, la machine qui avance en phase.

Pour l'éclairage des salles de chaudières et de machines, des bâtiments, des substructions d'écluses, de l'installation mécanique et des phares, le courant de haute tension, 2 000 volts, est ramené à la tension voulue d'exploitation à l'aide de transformateurs Hêlios (fig. 6) dont plusieurs milliers d'exemplaires sont actuellement employés.

L'éclairage de l'installation et des divers

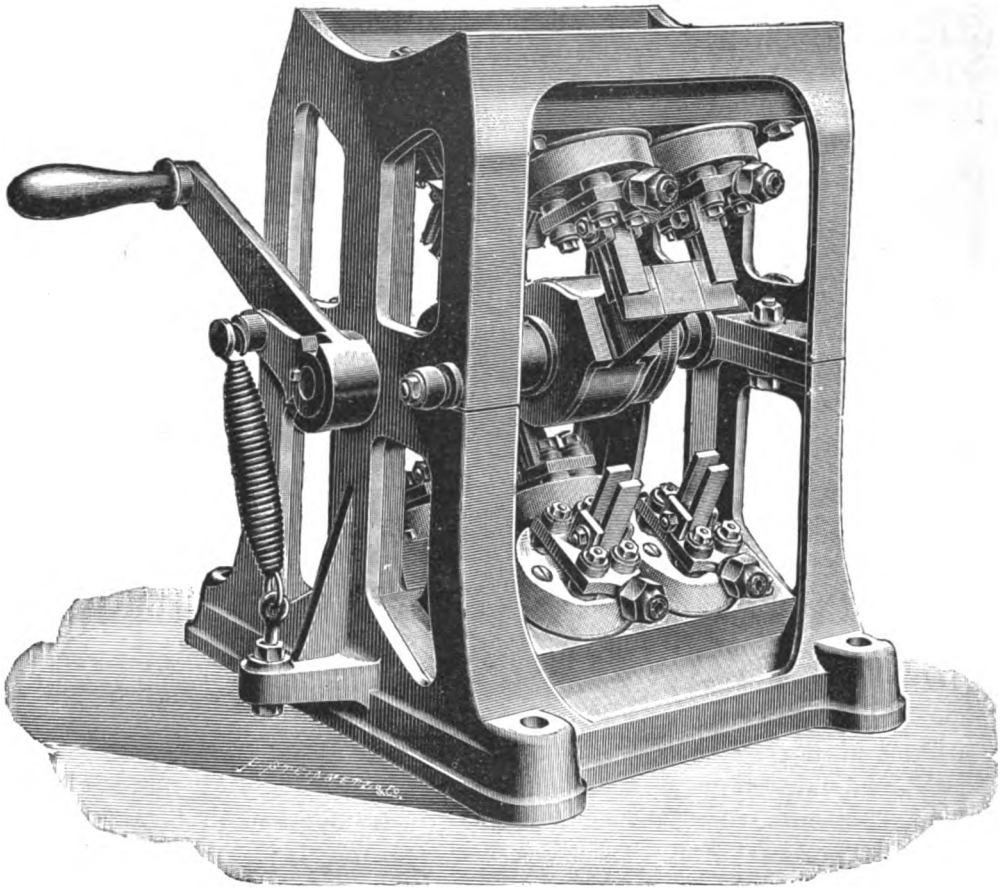


Fig. 5. — Commutateur.

services, à Holtenau et à Brunsbüttel, comprend un grand nombre de lampes à arc et à incandescence. Les supports sur les murs d'écluses sont garnis de 5 lampes de 25 bougies. Les conducteurs sont, sans exception, souterrains et concentriques, avec armature de fer en ruban.

A Brunsbüttel, où l'éclairage est aussi important qu'à Holtenau, la canalisation est également en câbles concentriques.

Les entrées des ports sont indiquées par des phares électriques. Les deux phares de Brunsbüttel sont placés sur la pointe extrême des môles qui s'avancent dans l'embouchure de l'Elbe. A Holtenau, le feu nord est monté dans la lanterne du pavillon impérial, tandis que celui du sud surmonte une tour de fer assise sur une substruction massive en maçonnerie.

Les 98 km. de longueur du canal sont divisés en quatre sections ; l'une d'elles va d'Holtenau jusqu'à 47 km. sur les rives nord et sud du

Digitized by Google

canal; de là partent deux sections, l'une

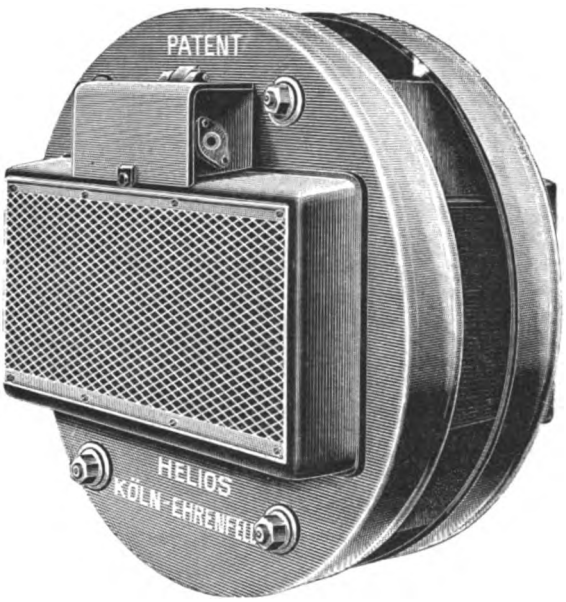


Fig. 6. — Transformateur Hélios.

septentrionale, l'autre méridionale, qui se réunissent à Brunsbüttel. Il y a ainsi quatre

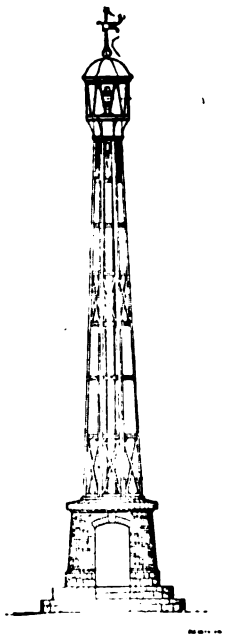


Fig. 7. — Phare sud d'Holtenau.

séries de lampes, dont chacune exigeait une canalisation d'aller et de retour. De Brunsbüttel la canalisation aller et retour atteint sur la rive nord du canal 99,3 km. et 99,8 sur la rive sud; du côté d'Holtenau la rive nord a 98,6 km. et la rive sud, 97. Chacune de ces sections comporte 250 lampes à incandescence de 25 bougies, ce qui donne comme distance moyenne de lampe à lampe 199 m. Cependant,

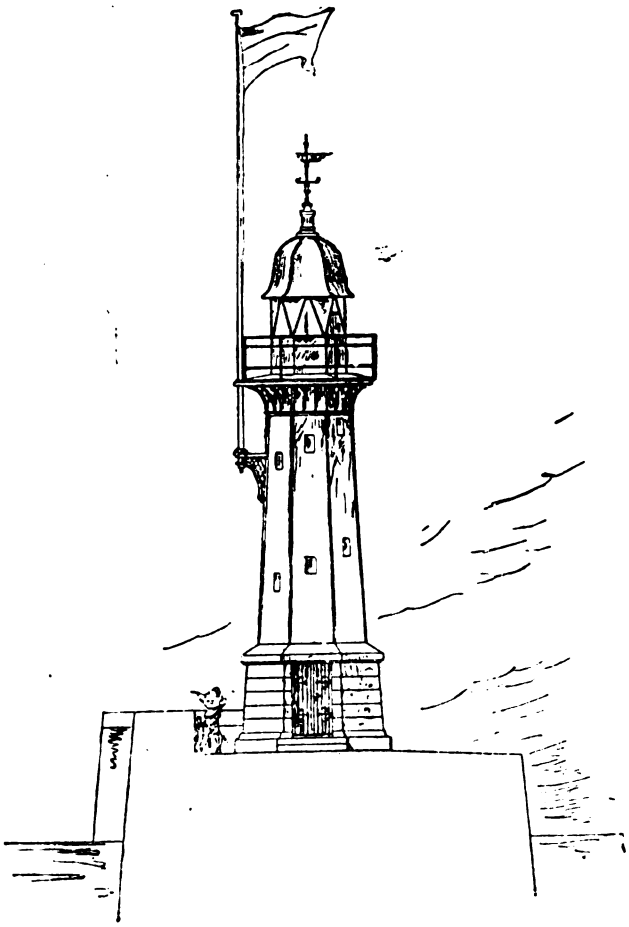


Fig. 8. — Phare de Brunsbüttel.

comme les étangs coupés par le canal ne sont pas éclairés électriquement (les passages dangereux en sont signalés la nuit par des bouées à gaz), les lampes ne sont guère qu'à une distance moyenne de 160 m les unes des autres. En réalité, leur écartement varie de 80 à 250 m, car dans les parties droites du canal l'éclairage par lampes distantes de 250 m. est parfaitement suffisant, tandis que dans les courbes leur espacement est naturel-

Digitized by Google

lement moindre. La route à suivre par les navires pendant la nuit est ainsi indiquée avec une parfaite netteté.

La canalisation électrique est en fil de cuivre de 4 mm. et supportée par les isolateurs à double cloche renforcés, introduits pour la première fois par la Compagnie Hélios et montés sur de robustes poteaux espacés de 40 m.

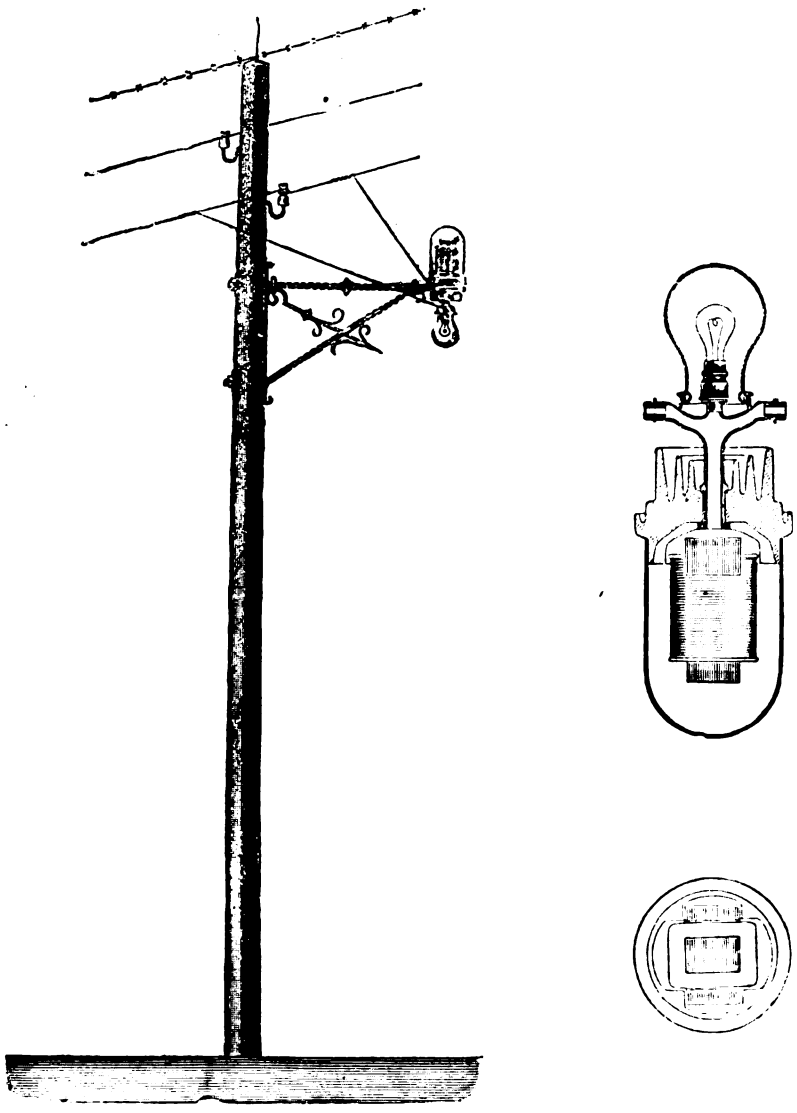


Fig. 9. — Poteau monté et détails en coupes.

Aux points où sont installées les lampes la canalisation n'est pas interrompue; elle va seulement s'enrouler de là un certain nombre de fois autour d'un noyau de fer, et revient de manière à laisser le conducteur absolument continu. En dérivation sur les enroulements qui enveloppent le noyau de fer se ferme, entre les extrémités de ces sections, le conducteur secondaire qui alimente les lampes. Les noyaux de fer et les lampes à incandescence sont dans des rapports magnétiques et électriques tels qu'il n'est absorbé dans le fer et son enroulement, tant que la lampe brûle, que 9 p. 100 de la puissance utilisée aux points lu-

Digitized by Google

mineux. Si la lampe à incandescence vient à manquer, tout le courant passe par l'enroule-

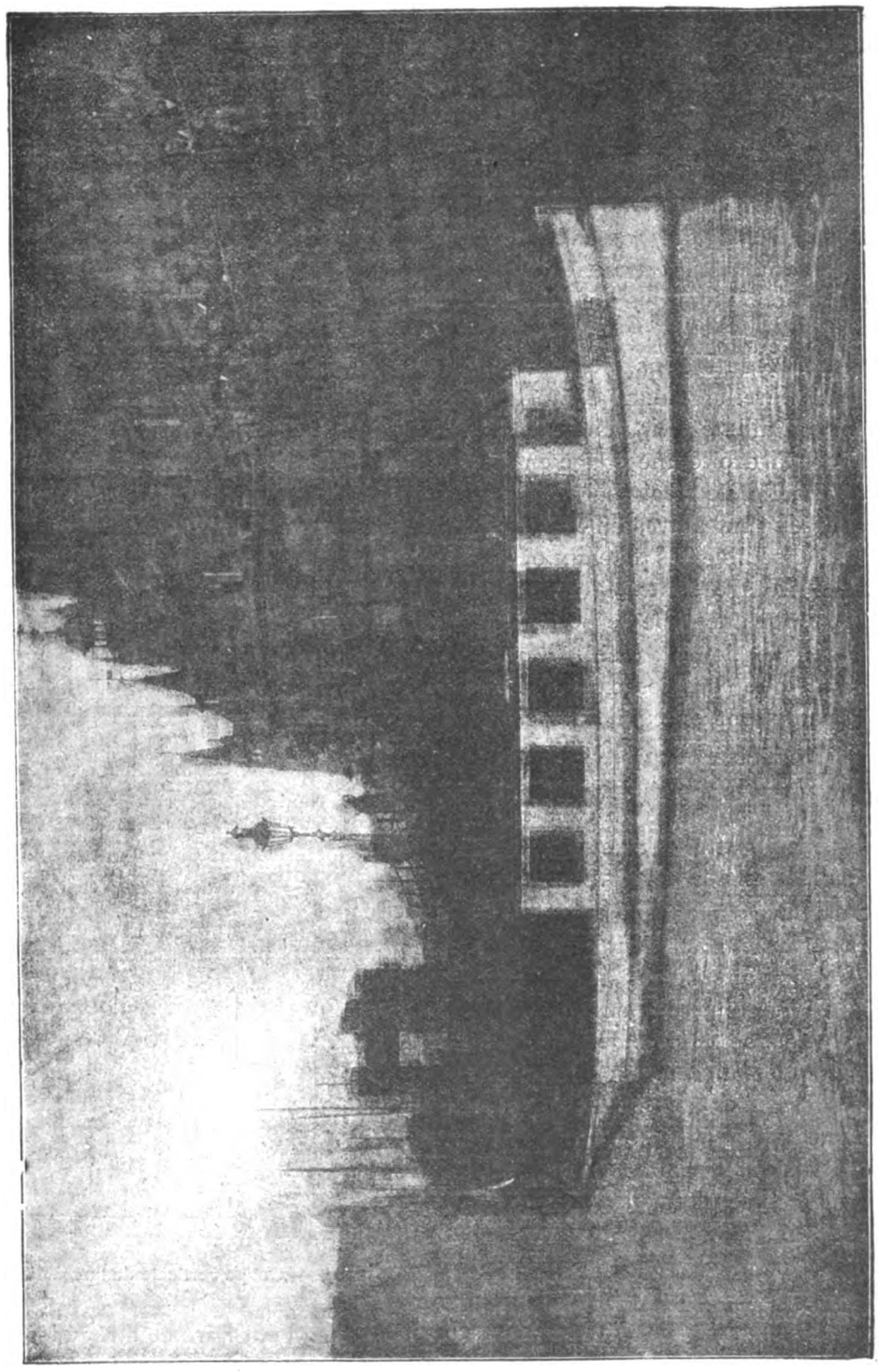


Fig. 10. — Embarcation électrique ayant servi à l'installation de l'éclairage électrique.

ment du noyau de fer, et, ainsi qu'on l'a vu plus haut, le circuit n'est jamais rompu. Les

Digitized by Google

relations sont si bien calculées que, sur les 250 lampes montées sur chaque section, plus d'un tiers peut être éteint ou mis hors de service sans nécessiter aucun réglage dans tout le système d'exploitation. La différence de potentiel aux bornes de chaque lampe est de 25 volts ; il y a à vaincre en outre toute la résistance de la canalisation, de sorte que la tension à maintenir couramment aux bornes de l'installation est d'environ 7 500 volts. Cette tension est obtenue par transformateurs rehausseurs des 2 000 volts que fournit la machine.

La figure 9 représente l'ensemble d'un poteau avec son appareillage, lampe, noyau de fer et enroulement montés sur une console en fer forgé ; on voit à droite une coupe en long, à plus grande échelle, de l'isolateur, du noyau et de la lampe, et une autre, en travers, du noyau de fer. L'ensemble des poteaux et de la canalisation est protégé contre la foudre par un fil garni de toute une série de pointes. Du côté nord, la canalisation est établie, tant au-dessous du canal que sous les canaux secondaires qui y aboutissent, en câbles armés. Ces câbles sont immergés à la profondeur d'un mètre dans le lit du canal et se composent de deux fils sans induction isolés au caoutchouc, avec enveloppe en gutta. L'armature en est constituée par des fils de fer galvanisé. Ces câbles sont éprouvés à 15 000 volts, ce qui donne toute garantie pour leur fonctionnement sous les 7500 volts de tension normale. Ils sortent, ainsi que tous ceux employés dans l'installation, de l'usine rhénale de caoutchouc Franz Clouth, à Cologne-Nippes.

A la mise en marche de l'installation, il a été reconnu que le programme fixé d'avance pouvait être considéré comme rempli. Elle fonctionne en toute sécurité, à régulation automatique, très économiquement, et chaque lampe est complètement indépendante des autres. Cette solution, couronnée de succès, d'un problème difficile, est tout à l'honneur de la science électrique.

L'éclairage de la salle des fêtes à Holtenau, à l'occasion de l'ouverture du canal, a été assuré par 165 foyers à arc et plus de 500 lampes à incandescence alimentées par l'installation de cette localité.

Pour le montage, on a utilisé l'embarcation électrique « Hélios » (fig. 10) qui, avec une vitesse de 15 km. à l'heure, peut effectuer en 7 heures 1/2 environ toute la traversée du canal.

J. REYVAL.

LA DÉTERMINATION DE L'INTENSITÉ MOYENNE SPHÉRIQUE DES SOURCES DE LUMIÈRE [1]

Tarage. — Pour que les lectures puissent donner la valeur du flux ou de l'intensité moyenne sphérique, il faut tarer les instruments. On peut faire ce tarage isolément pour chaque partie en déterminant d'une part le

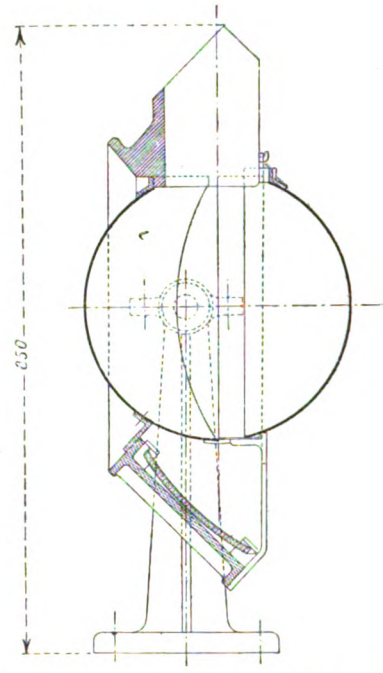


Fig. 19. — Coupe verticale du lumenmètre à miroir.

[1] Voir *Eclairage Electrique* du 1er juin, p. 406.

Digitized by Google

pouvoir réflecteur du miroir sous l'incidence moyenne adoptée, et de l'autre, comme on l'a indiqué plus haut, le coefficient applicable à l'ensemble du photomètre et du diffuseur éclairé sous l'incidence moyenne, qui est 1/10 radian.

Mais ce procédé a l'inconvénient d'ajouter les erreurs des deux déterminations, et il est préférable d'opérer d'un seul coup le tarage de tout l'ensemble de l'installation, de la façon suivante : on place dans l'appareil et bien au centre une lampe étalon à flamme circulaire, ayant une intensité horizontale connue I_h. On isole sur les fuseaux à l'aide de deux calottes sphériques ABC, A'B'C' (fig. 20) une zone

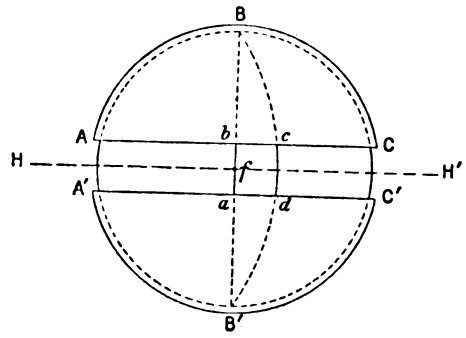


Fig. 20. — Procédé de limitation des ouvertures pour le tarage de l'appareil.

équatoriale *abcd*, de hauteur connue et assez faible pour que l'intensité des rayons qui la traversent soit sensiblement uniforme; on délimite ainsi un angle solide d'émission connu et par suite un flux connu en fonction de l'unité de flux. On fait une mesure au photomètre et celle-ci sert de point de comparaison pour toutes les mesures ultérieures.

Si l'on emploie par exemple une carcel et qu'on ait limité la hauteur *fb* de la zone libre des fuseaux à 1/4 du rayon au-dessus et au-dessous de l'équateur, l'angle solide des fuseaux est

$$\frac{1}{10} \times \frac{4\pi}{4} = \frac{\pi}{10}.$$

Le flux qui les traverse est

$$\Phi_u = \frac{\pi}{10}$$

unités de flux dans le système photométrique (B C. M. S.) (1); ou, en se rappelant que la carcel égale 9,62 pyrs (bougies internationales),

$$\Phi_u = 0{,}314 \times 9{,}62 = 3{,}02 \text{ lumens.}$$

Supposons que la distance à laquelle il faut amener la source auxiliaire au photomètre Bunsen pour égaliser l'effet de l'écran diffuseur à ce moment soit 0,60; on en déduit que lorsque le flux est de 1 lumen, la distance sera

$$l' = 0{,}60 \times \frac{1}{\sqrt{3{,}02}} = 0{,}345.$$

34,5 centimètres du banc photométrique vaudront donc 1 lumen émis par l'appareil, c'est-à-dire, (puisque les fuseaux de celui-ci sont le 1/10 de la sphère), 10 lumens émis par les sources de lumière étudiées. En marquant les longueurs $34{,}5\sqrt{2}$, $34{,}5\sqrt{3}$ etc...., le banc photométrique se trouvera gradué en dizaines de lumens.

Si l'on préfère, d'après la vieille mode, graduer en intensités moyennes sphériques, il suffit de se rappeler que celles-ci sont égales à $\frac{1}{4\pi}$ des flux.

Si on emploie un photomètre à œils de chat, le tarage se fait d'une manière analogue et chaque division de la graduation vaut un certain nombre de lumens.

Précision des mesures. — Il est intéressant de déterminer l'erreur probable des mesures de flux faites à l'aide de cet instrument. On peut l'évaluer de la manière suivante :

1° L'erreur résultant de la variation du pouvoir réflecteur par la variation de l'angle d'incidence sur le miroir entre les limites correspondant aux bords du fuseau, environ 35° et 45°, n'atteint pas sur l'ensemble du flux 1 p. 100 d'après la courbe de la figure 16. En fait, lorsque la source a des dimensions appréciables, les rayons théoriques issus du centre géométrique sont remplacés par un petit fais-

(1) Bec Carcel, mètre, seconde.

Digitized by Google

ceau dont les incidences différentes introduisent une nouvelle variation; mais comme ces variations sont sensiblement égales dans le sens positif et le sens négatif, on peut considérer comme à peu près négligeable pratiquement l'erreur commise sur la moyenne.

2° L'erreur provenant de la variation d'incidence sur le diffuseur est du même ordre que la précédente (1); on peut l'évaluer d'après les angles d'incidence extrêmes. L'angle d'incidence des rayons issus du centre géométrique de la sphère sur l'écran diffuseur varie entre 0,05 et 0,10 radian. Il faut y ajouter l'angle de divergence des rayons émis par la source. En admettant que celle-ci atteigne 3 cm. de diamètre, cet angle ne dépassera pas 0,10 dans chaque sens. Le maximum d'obliquité des rayons sera donc inférieur à 0,20 radian. Les variations du pouvoir diffuseur sont absolument négligeables dans ces limites quand on emploie un écran opale.

3° L'erreur résultant de l'obliquité des rayons diffusés sur le photomètre peut être réduite autant qu'on veut en écartant celui-ci; on peut admettre qu'elle ne dépassera pas 1/2 p. 100. L'erreur sur la lecture au photomètre peut être réduite également à 1/2 p. 100.

4° Enfin il faut tenir compte de l'erreur provenant de la petite quantité de lumière parasite réfléchie par la surface intérieure noircie de la sphère.

Le pouvoir émissif d'une surface couverte de vernis noir mat *suivant la normale* ne dépasse pas, d'après les chiffres connus, 1/2 o/o du chiffre qui mesure l'éclairement de cette surface. Or les seules parties de la sphère qui puissent ainsi réfléchir des rayons sont les parties voisines des bords mêmes des fuseaux et on peut les réduire au minimum en couvrant d'une enveloppe opaque la partie de l'écran diffuseur qui ne reçoit pas les rayons directs de la source. Dans ces conditions la surface réfléchissante ne peut dépasser une ou deux fois la section du fuseau opposé. L'erreur sur le flux atteindra donc au plus 1/2 à 1 o/o.

L'erreur résultant de tout l'ensemble de l'appareil ne doit pas dépasser en définitive 2,5 à 3 p. 100; c'est une précision remarquable pour de semblables mesures.

Cela suppose bien entendu que l'étalon est parfaitement connu et que le tarage a été bien fait; les erreurs résultant d'une mauvaise détermination de la puissance de cet étalon sont d'ailleurs forcément les mêmes dans toutes les méthodes photométriques. L'erreur sur l'étalon peut atteindre 1/2 p. 100 et celle sur le tarage 1 p. 100.

On remarquera en terminant que cette méthode ne suppose rien sur la précision de l'exécution du miroir elliptique; celle-ci peut être très médiocre sans que cela change rien à l'exactitude des mesures. Il en est tout autrement pour la seconde méthode exposée plus loin.

Exemple des mesures faites avec l'instrument. — Mon intention n'étant que de faire connaître l'instrument, je citerai seulement à titre d'exemple une série de mesures faites aussitôt après sa construction par M. Jean Rey, ingénieur civil des mines. Ces mesures ont eu pour but d'étudier l'influence du diamètre des crayons sur le flux produit par des arcs de diverses intensités.

La distance de l'appareil à l'écran était 5 m. celle de l'écran au photomètre également, 5 m. La source de comparaison était une lampe Carcel. Le tarage de l'instrument a donné pour constante de l'appareil 0,003 carcel; c'est-à-dire que l'écran recevant un flux de 1 lumen est équivalent à une source secondaire d'intensité 1 carcel.

Voici deux séries de mesures faites sur des crayons de diamètre différent.

(1) Cette erreur peut être réduite encore au besoin en prenant un miroir parabolique au lieu du miroir elliptique, car on supprime ainsi toute obliquité des rayons provenant du foyer, et il ne reste plus que celle provenant des dimensions de la source; mais j'ai préféré le réflecteur elliptique pour réduire le recul du photomètre et pouvoir appliquer aussi la deuxième méthode avec le même appareil.

Digitized by Google

INTENSITÉ du courant	VOLTAGE aux bornes	FLUX LUMINEUX TOTAL	
		crayons de 21 et 13mm	crayons de 14 et 8mm
20 amp.	44 volts	7900 lumens	21300
25	44	9430 —	33800
30	45	12270 —	46300
35	46	28100 —	61300

Ce tableau montre que le flux est presque triplé par l'emploi des petits crayons.

On voit par cet exemple que l'appareil permet de résoudre très rapidement des problèmes d'une grande importance pratique. J'espère pouvoir en donner prochainement des applications plus étendues.

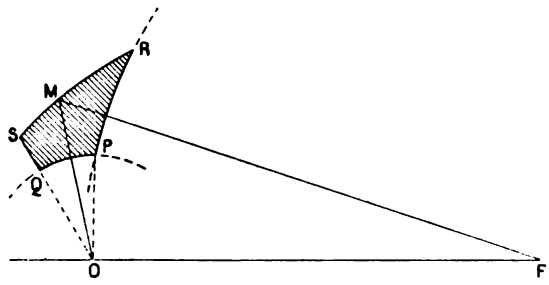


Fig. 21. — Principe de la construction du réflecteur prismatique.

Remarque sur l'emploi possible de la réflexion totale. — Du moment que l'on réduit le miroir à une simple zone, il serait possible de lui substituer un anneau catadioptrique, c'est-à-dire un prisme de révolution produisant la réflexion totale sur sa face hypothénuse. Pour qu'un semblable anneau présente un coefficient d'absorption constant pour les rayons qui le traversent, il suffit de lui donner un profil construit comme le montre la figure 21.

Soit O le point de l'axe où l'on place la source, F celui où l'on veut concentrer les rayons; on prendra pour hypothénuse SR une ellipse ayant O et F pour foyers, pour profil d'entrée PQ un cercle ayant O pour centre, et pour profil de sortie PR un cercle ayant F pour centre. La figure 22 donne une vue perspective d'un demi-anneau de révolution ayant le profil qu'on vient d'indiquer.

Les trajets des rayons présentant tous même longueur d'après la propriété fondamentale de l'ellipse, il en sera de même du parcours dans le verre seul; par conséquent chaque rayon subira la même absorption, et les mêmes pertes par réflexion à l'entrée et à la sortie; quant à la réflexion sur l'hypothénuse, elle est totale; l'affaiblissement résultant est donc en définitive, rigoureusement le même pour tous les rayons.

Mais cette solution, bien que n'offrant pas de difficultés d'exécution, présente plusieurs inconvénients assez sérieux : pour donner aux fuseaux une ouverture suffisante, il eût fallu

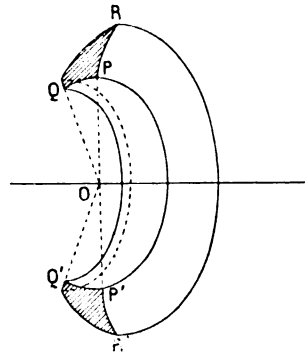


Fig. 22. — Vue d'un demi-anneau à réflexion totale.

un anneau de volume considérable, très lourd et absorbant beaucoup de lumière; les réflexions sur les faces PQ et QR renvoient des rayons en arrière, ce qui ne permet pas l'emploi de deux fuseaux symétriques; pour assurer la réflexion totale lorsque la source de lumière a des dimensions notables, il eût fallu employer un verre d'indice plus élevé que les verres ordinaires (1). D'ailleurs l'exécution des anneaux catadiopriques présente en général beaucoup moins de précision que celle d'un miroir.

Pour tous ces motifs, l'emploi de l'anneau catadioprique qui pourrait être avantageux dans de petits lumens-mètre destinés à des usages spéciaux, ne m'a pas paru devoir être

(1) On pourrait tourner ces difficultés en partie en adoptant pour l'anneau une section telle que celle de la figure 23; mais on rencontrerait alors d'autres inconvénients sur lesquels il serait trop long d'insister ici.

Digitized by Google

adopté actuellement pour l'appareil pratique qui a été construit.

DEUXIÈME MÉTHODE :
MÉTHODE DU DIFFUSEUR SPHÉRIQUE

Celle-ci repose sur une théorie beaucoup plus compliquée que la première; pour en faciliter l'exposé je dirai tout d'abord en quoi elle consiste.

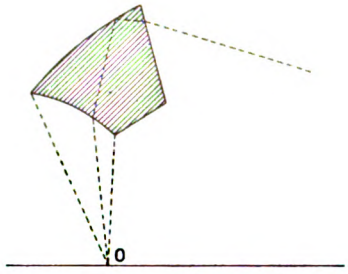


Fig. 23. — Variante du profil de l'anneau.

Énoncé de la méthode. — On place à l'intérieur de la sphère opaque, et concentriquement, une enveloppe sphérique complète formée d'une substance diffusante orthotrope, parfaitement homogène comme épaisseur, et percée à la partie supérieure d'une ouverture

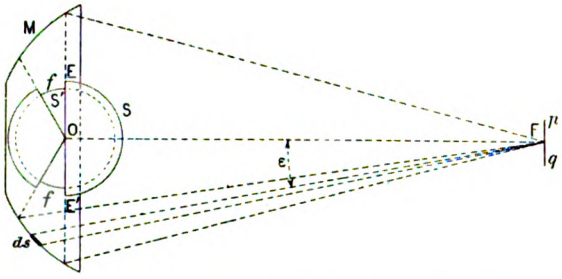


Fig. 24. — Principe de la deuxième méthode.

correspondant à celle de la sphère. C'est au centre O de cette enveloppe S' (fig. 24) qu'on introduit la source à mesurer. On supprime le diffuseur plan de la méthode précédente, et on place l'écran photométrique du photomètre lui-même au point F foyer conjugué du centre de la sphère par rapport au miroir elliptique.

Si l'on a eu soin de modifier un peu la forme des fuseaux sphériques de l'appareil *ff*, et d'observer certaines précautions, ainsi qu'on l'expliquera plus loin, l'éclairement produit sur le photomètre est proportionnel au flux lumineux total ou à l'intensité moyenne sphérique de la source de lumière étudiée.

Démonstration de cette proposition. — Cette proposition repose sur les propriétés des diffuseurs orthotropes et sur les propriétés des miroirs, qui donnent lieu aux théorèmes suivants :

1er Théorème : *Si une source est placée au centre d'une sphère en substance diffusante orthotrope et homogène, l'éclat normal moyen de celle-ci est proportionnel au flux total de lumière émis par la source.*

En effet, le flux total reçu par la sphère, y compris ce qui provient des réflexions multiples qui se produisent à la surface, est précisément égal au flux émis par la source en vertu du principe de la conservation du flux (1).

Si la source est supposée au centre de la sphère, et de faibles dimensions, le flux résultant est normal intérieurement à la surface de celle-ci en chaque point; le pouvoir émissif i de la substance diffusante suivant la normale extérieure est donc, en chaque point, proportionnel à l'éclairement intérieur E; d'où

$$i = kE \qquad (30)$$

L'éclat *moyen* s'obtient, par définition, en intégrant l'éclat sur toute la surface de la sphère S et a pour expression

$$i_m = \frac{1}{S}\int i\,ds, \qquad (31)$$

ou, en remplaçant i par sa valeur et se rappelant la définition du flux,

$$i_m = \frac{k}{S}\int E\,ds = \frac{k}{S}\,\Phi. \qquad (32)\ \text{(C.Q.F.D.)}$$

Si la source est de grandes dimensions, le flux

(1) On suppose ici que la lumière qui subit une ou plusieurs réflexions avant de sortir n'est pas absorbée par la source; cela n'est pas tout à fait exact en pratique.

Digitized by Google

résultant peut s'écarter notablement de la normale et une partie des rayons réfléchis est absorbée par la source; le théorème n'est donc plus rigoureux dans ce cas.

2e Théorème. *Lorsqu'on place une source de lumière près d'un miroir* M (*fig. 25*), *l'éclairement produit en un point quelconque* m *de l'espace, par chaque élément* ds *du miroir qui y envoie des rayons lumineux, est égal au produit de l'éclat* i *de la source au point d'émission* n *correspondant par l'angle solide* dσ *sous lequel l'élément réfléchissant* ds *est vu du point* m.

Cette propriété est une simple application d'un théorème général d'optique photométrique que j'ai fait connaître antérieurement (1) et dont je ne reproduirai pas ici la démonstration.

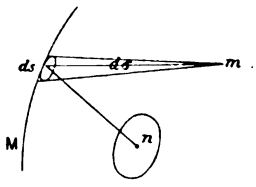


Fig. 25.

L'éclairement résultant en *m* est l'analogue d'une force résultante dirigée; on l'obtient par la composition géométrique des éclairements produits par tous les points actifs du miroir (2). L'éclairement sur un plan s'obtient enfin en projetant cette résultante sur la normale au plan.

Application. — Cela posé, examinons l'éclairement que produit sur le photomètre notre écran diffuseur placé dans la sphère opaque et éclairé intérieurement; supposons pour cela la plage photométrique *pq* (fig. 24) réduite à un point F.

La portion de surface Σ du réflecteur qui éclairera ce point, foyer conjugué de O, est limitée par le cône plus ou moins compliqué ayant pour sommet le point F et pour base les ouvertures des deux fuseaux.

L'éclairement en F aura donc pour expression, en appelant R le coefficient de réflexion du miroir,

$$E' = \int_{\Sigma} R\, i d\sigma \cos\varepsilon \qquad (33)$$

l'intégrale étant étendue à tous les éléments actifs du réflecteur. R et ε ne varient pas sensiblement d'un point à l'autre de la faible étendue éclairante du miroir; on peut donc prendre pour R cos ε une valeur moyenne (1) et écrire, en fonction des angles solides,

$$E' = R \cos\varepsilon \int_{\Sigma} i d\sigma \qquad (34)$$

Pour que cet éclairement pût donner une mesure du flux lumineux total I, il suffirait d'obtenir que $\int i d\sigma$ fut proportionnel à l'éclat moyen i_m du diffuseur.

Cela n'est possible que dans un cas, celui où la source de lumière est symétrique autour de son axe vertical; il en est alors de même pour la répartition de l'éclat de la surface de la sphère diffusante; celle-ci présente un éclat constant pour chaque zone horizontale, et qui varie progressivement d'une zone à l'autre. Pour calculer l'intégrale on choisira donc les éléments $d\sigma$ de façon que l'éclat *i* soit constant dans l'étendue de chacun d'eux.

Or, si l'on considère les rayons issus du foyer O (fig. 24) et passant par une zone élémentaire horizontale de la sphère opaque S, ils découpent sur la zone d'ellipsoïde $\zeta\zeta'$ représentée en projection verticale sur la figure 26 une petite surface *abcd* limitée par deux courbes gauches *ab* et *cd*. Mais étant donnée l'ouverture angulaire très faible des deux fuseaux de la sphère opaque, les deux courbes gauches diffèrent extrêmement peu de deux courbes planes contenues dans deux plans méridiens de l'ellipsoïde de révolution menés

(1) Théorie des projecteurs, page 9 (Lahure, éditeur).

(2) J'appelle points actifs ceux par lesquels peut passer un rayon provenant de la source et aboutissant en *m* après réflexion.

(1) On pourrait d'ailleurs faire une correction pour en tenir compte comme on l'a indiqué plus haut pour la première méthode.

Digitized by Google

par l'axe optique tangentiellement à la zone de la sphère. On peut donc dans le calcul de l'intégrale (34) définir de cette manière sim-

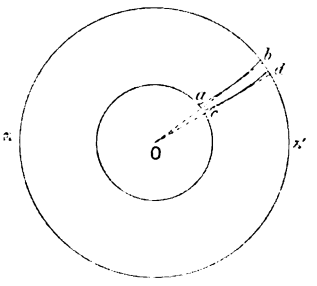


Fig. 26.

plifiée la surface élémentaire qui sert de base à chaque angle solide $d\sigma$.

Détermination de la forme à donner à l'ouverture des fuseaux. — Évaluons maintenant l'angle solide σ en fonction des angles qui la déterminent, c'est-à-dire (fig. 27) de l'angle $d\gamma$ sous lequel la ligne $a'b'$ est vue du point F, et de l'angle $d\delta$ formé par les deux plans méridiens infiniment voisins passant par $a'b'$ et $c'd'$. Cette détermination peut se faire graphiquement.

On n'a qu'à évaluer les fractions de zone sphérique correspondantes sur la sphère C' décrite autour de F avec le rayon 1 ; on trouve ainsi en désignant par s la projection de l'arc B A sur l'axe optique, mesuré à partir de B.

$$d\sigma = \frac{d\delta}{2\pi} \times 2\pi\, ds \qquad (35)$$
$$= d\delta\, ds.$$

D'où, en intégrant d'abord par un rapport à ds, puisque i est supposé constant dans l'étendue de la section méridienne $a'b'$,

$$E' = R \cos\varepsilon \int i\, ds\, d\delta. \qquad (36)$$

Pour que l'intégrale représente bien l'éclat moyen sphérique, il suffit que, pour chaque angle élémentaire $d\delta$, l'angle solide $s d\delta$ soit

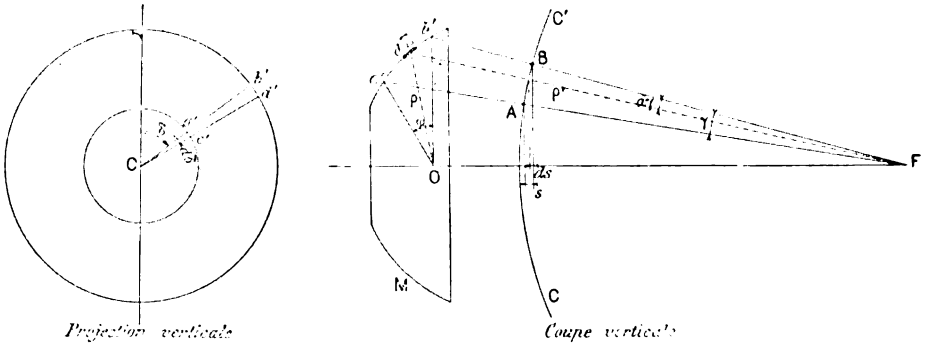


Fig. 27. — Calcul graphique de la forme de l'ouverture sphérique pour la deuxième méthode.

proportionnel à la surface de la zone élémentaire de la sphère opaque (du lumenmètre) qui présente l'éclat i. Cette surface étant proportionnelle à

$$d\delta \sin\delta,$$

on devra donc satisfaire à la relation

$$S = k \sin\delta \qquad (37)$$

k étant une constante quelconque, ce qui permet de prendre pour le cercle CC' un cercle également quelconque.

Cette équation suffit pour permettre de déterminer graphiquement la forme des ouvertures de la sphère opaque : on limite encore celles A' à un plan Ob' perpendiculaire à l'axe optique O F. L'autre arête du fuseau s'obtient en déterminant dans chaque plan méridien l'angle φ correspondant d'après la construction de la figure 27, c'est-à-dire en donnant à s sa valeur déterminée en fonction de δ par l'équation (37).

On peut aussi déterminer ces valeurs par le calcul avec plus de précision.

Digitized by Google

Appelons $d\dot{\Omega}$ l'angle solide sous lequel est vu depuis le foyer O l'élément du miroir $d\Sigma$ (fig. 27) correspondant à l'angle solide $d\sigma$ (vu depuis le foyer F), ρ et ρ' les rayons vecteurs correspondants aboutissant aux deux foyers O et F de l'ellipse; on a :

$$d\sigma = \frac{\rho^2}{\rho'^2}\, dt = \frac{\rho^2}{\rho'^2}\, d\delta d\varphi. \qquad (38)$$

D'où en substituant dans l'équation (36) et en séparant les variables.

$$E' = R \cos \varepsilon \int_0^{\pi} \left[i \sin \delta d\delta \int_0^{\varphi} \frac{\rho^2}{\rho'^2}\, d\varphi \right]. \qquad (39)$$

Pour que l'élément de zone soit proportionnel à $\sin \delta d\delta$, on doit poser :

$$\int_0^{\varphi} \frac{\rho^2}{\rho'^2}\, d\varphi = k \sin \delta. \qquad (40)$$

Or, d'autre part, si on appelle $2a$ le diamètre, e l'excentricité et p le paramètre de l'ellipse, les deux rayons vecteurs ρ et ρ' ont pour expression en fonction de φ.

$$\rho = \frac{p}{1 + e \cos \varphi}$$

$$\rho' = 2a - \rho = \frac{2a(1 + e \cos \varphi) - p}{1 + e \cos \varphi}.$$

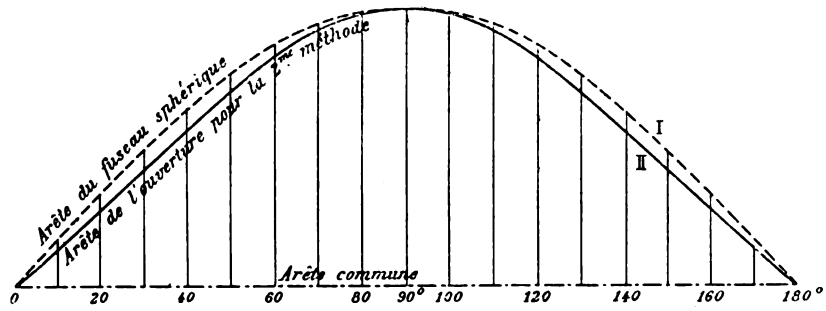


Fig. 28. — Comparaison entre les formes d'ouvertures applicables à la première

En substituant ces valeurs, l'équation (40) devient

$$\int_0^{\varphi} \frac{d\sigma}{\left[1 - \frac{2a}{p}(1 + e \cos \varphi\right]^2} = k \sin \delta$$

ou après intégration

$$\frac{1}{\frac{2aek}{p}\left[1 - \frac{2a}{p}(1 + e \cos \varphi)\right]} = \sin \delta. \qquad (41)$$

D'où l'on peut tirer φ en fonction de δ. L'équation étant toute résolue en $\sin\delta$, il suffit de calculer δ en fonction de φ, ce qui revient au même. On se donne la valeur maxima de x pour $\delta = 0$ d'après les dimensions de l'appareil, ce qui détermine la valeur R. On peut ensuite achever le calcul et construire par points la seconde arête de l'ouverture.

En général, celle-ci diffère peu de celle du fuseau sphérique de la première méthode. Pour en juger, il suffit de prolonger les rayons focaux qui s'appuient sur ces ouvertures jusqu'au cylindre circonscrit à la sphère et de développer sur un plan les deux courbes ainsi obtenues.

J'en donnerai ici un exemple calculé dans le cas d'un lumen-mètre ayant les constantes suivantes :

Diamètre du miroir dans le plan focal $0^m,50$;
Paramètre $p = \ldots\ldots\ldots 0^m,25$;
Distance des foyers. . . . . 5^m;
Demi-axe $a = \ldots\ldots\ldots 2^m,628$;
Excentricité $e = \ldots\ldots \frac{2,50}{2,628} = 0,95$.

La courbe développée est représentée à une échelle arbitraire sur la figure 28 comparativement avec la sinusoïde correspondant au fuseau de même ouverture maxima, ce qui permet de bien apprécier la différence.

Réalisation de l'écran diffusant sphérique. — La principale difficulté que présente l'emploi de cette méthode, c'est la réalisation d'un bon écran diffuseur sphérique. J'ai

Digitized by Google

employé des globes soufflés en verre opale (albâtrine de Baccarat épaisse et non teintée) qui constitue, comme on l'a dit plus haut, un diffuseur excellent; mais j'ai trouvé de grandes difficultés à obtenir des épaisseurs uniformes, bien que j'eusse soin de disposer, dans le plan focal EE' (fig. 24), normal à l'axe optique l'équateur *ee'* des globes tels qu'ils se présentent pendant le soufflage à la canne (fig. 29).

Pour obtenir des épaisseurs bien rigoureuses, il faudrait un outillage trop compliqué et trop dispendieux. Aussi le mieux serait-il peut-être de se contenter d'employer une sphère en papier blanc construite par fuseaux comme les ballons (1).

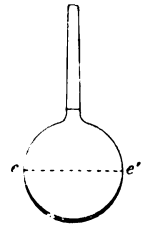


Fig. 29. — Inégalités d'épaisseur dans le soufflage d'un globe.

Comparaison de cette méthode avec la précédente. — Cette méthode est plus compliquée que la précédente et sa précision est moindre en raison des causes d'erreur plus nombreuses qu'entraîne la construction. D'une part, en effet, il faut réaliser un diffuseur sphérique et des ouvertures de forme complexe; d'autre part, l'exactitude de la courbure du miroir, qui ne jouait aucun rôle dans la première méthode, est au contraire ici indispensable. Pour tous ces motifs, la seconde méthode est inférieure à la première et n'aurait guère de raison d'être que si l'on était forcé d'opérer dans un local très peu étendu, où l'on manque de recul pour le photomètre.

(*A suivre.*) ANDRÉ BLONDEL.

(1) Si l'on n'avait pas à craindre les causes d'erreur provenant de la lumière inégalement réfléchie par diffusion, on pourrait se contenter de fermer les ouvertures de la sphère par du papier blanc; mais celui-ci renverrait une partie de la lumière sur le fuseau opposé, suivant une loi qu'on ne peut définir; cette difficulté ne peut être évitée qu'en employant un diffuseur sphérique complet.

DISTRIBUTION MONOCYCLIQUE DE STEINMETZ (1)

DISCUSSION

A la suite de la communication de M. Louis Bell, plusieurs membres de la *National Electric Light Association* ont pris successivement la parole pour discuter soit la nouveauté soit les avantages de ce système.

Perdant un peu de vue son objectif qui est, non pas de remplacer l'emploi des courants polyphasés, mais de perfectionner celui des courants alternatifs simples, si répandus en Amérique, en permettant d'en obtenir des services plus complets sans coûteuses transformations, *M. Kelly* reproche au système de venir trop tard et même d'être, suivant lui, un retour en arrière en ce qu'il n'est pas possible d'obtenir la même puissance ni la même régulation avec un générateur simple qu'avec un générateur diphasé. Quant à la prétendue difficulté d'équilibrer un système à deux fils, dont il a une longue expérience, il ne la trouve pas plus grande qu'avec le système ordinaire à trois fils. Dans tous les cas le système monocyclique exige au moins trois fils, et un système polyphasé quelconque n'en exige pas davantage. Deux suffisent, dans un cas comme dans l'autre, s'il s'agit seulement d'éclairage, et l'immobilisation de cuivre est au moins aussi élevée, d'après les diagrammes de M. Bell, qu'avec les courants alternatifs ordinaires, tandis qu'elle est notablement réduite dans le système diphasé à trois fils. Enfin, dans une distribution circulaire, s'il s'agit uniquement de transport d'énergie méca-

(1) Voir l'*Éclairage Électrique* du 11 mai, p. 259.

Digitized by Google

nique, le système monocyclique exige un troisième fil de même section que chacun des deux autres, ce qui constitue une augmentation de 50 p. 100 dans la dépense de cuivre, et l'on a de plus à compter avec une chute de potentiel plus grande ici qu'avec le système ordinaire.

En ce qui concerne la fréquence à laquelle on peut faire fonctionner les moteurs, ce n'est pas en cela que résident les avantages incontestables d'une faible fréquence dans le cas d'une transmission à grande distance. Il n'y a aucune difficulté à établir des moteurs polyphasés à 16 000 périodes par seconde, à bon rendement et à démarrage avec un couple puissant; et il n'y a pas de raisons pour que, dans le système monocyclique, le moteur, qui n'est autre qu'un moteur polyphasé, ne fonctionne pas aussi bien que ses pareils.

Après avoir remis la question à son point véritable, *M. Steinmetz* insiste sur ce fait que son système monocyclique procède uniquement du système alternatif simple, en ce que le flux total d'énergie issu du générateur passe par zéro et oscille au-dessus et au-dessous, tandis que le système polyphasé emprunte au système à courant continu ce caractère commun que le flux d'énergie n'est jamais nul mais plus ou moins constant. Des forces électromotrices de différentes phases ou des courants de phases différentes ne constituent pas le système polyphasé. En effet, si, dans le système alternatif simple, on relie en série avec des lampes à incandescence une bobine de réaction, on obtient des forces électromotrices décalées d'un quart de période l'une par rapport à l'autre, et dans un transformateur chargé, aussi bien que dans un transformateur fonctionnant sous faible charge, les courants sont déphasés. Dans aucun de ces deux cas cependant il n'est question de système polyphasé. Le système polyphasé est caractérisé par le fait du décalage de la force électromotrice et de l'intensité des courants l'une par rapport à l'autre.

Arrivant au principe émis par M. Kelly que la puissance d'une machine polyphasée est supérieure à celle d'un alternateur simple, M. Steinmetz soutient que c'est là une erreur générale répétée depuis plusieurs années. Il signifie qu'un induit polyphasé peut recevoir plus de fil qu'un induit d'alternateur ordinaire. Mais la puissance d'un alternateur n'est pas limitée par le poids de fil qu'on peut mettre sur son induit; c'est la réaction d'induit qui intervient ici, ou plutôt la fraction de cette réaction qu'on ne peut pas éliminer par la disposition du système inducteur. Or, dans un alternateur simple, on arrive par compoundage à réduire une beaucoup plus forte réaction d'induit que dans une machine polyphasée, où le peu d'importance de cette réaction détermine un défaut d'équilibre dans le circuit. Par suite la puissance d'une machine polyphasée est moindre que celle d'un alternateur simple de mêmes dimensions et marchant à la même allure, ou tout au moins elle ne lui est pas supérieure.

Le professeur *Houston* prenant ensuite la parole, se déclare absolument d'accord avec M. Bell sur tous les points de son exposition si complète et si claire, et, après mûre considération, donne pleinement raison à M. Steinmetz qui, à la suite de ses longues et profondes études de la question des courants alternatifs, polyphasés, et d'autres systèmes, est arrivé à un grand nombre de remarquables combinaisons, dont celle de son système monocyclique. Il ne doute pas que ce système réalise tous les avantges qu'en a fait ressortir le Dr Bell.

Pour *M. Scott*, il ne voit dans cette application qu'une des formes résultant de la souplesse bien connue du système alternatif polyphasé et qui permet de passer de l'une à l'autre avantageusement suivant le résultat à atteindre.

Il voudrait reprendre un à un les différents points successivement envisagés pour les élucider et établir nettement la relation entre ce système et les autres. On a, dit-il, parlé d'abord du système diphasé, puis du système triphasé

Digitized by Google

comme de combinaisons absolument nouvelles et tout à fait différentes. Il n'y a par le fait aucune différence essentielle entre eux. Nous voici maintenant en présence d'un système monocyclique. Comment se relie-t-il aux autres? Est-il radicalement et entièrement nouveau? Cette dénomination sonore est-elle une démarcation par rapport à ce qui a été fait antérieurement? N'en est-ce qu'une modification? Et dans ce cas, quelle est cette modification?

En ce qui concerne le générateur, le choix est à peu près indifférent : l'alternateur simple règle mieux, dit-on, et a plus de puissance. La machine polyphasée, dit-on d'autre part, règle bien et fournit une puissance satisfaisante. — Passons. — Mais d'autres points relatifs au circuit de transmission méritent attention. Le Dr Bell a considéré un système diphasé à quatre fils, représenté dans sa troisième figure, comme correspondant uniquement au circuit alternatif à deux fils, sans le comparer au système à trois fils qui représente une dépense de fil beaucoup moindre. Ceci peut être exact pour des réseaux de faible étendue; mais, dans les stations centrales telles qu'elles existent ordinairement, les lignes de distribution ont généralement des directions différentes. Les stations à courants alternatifs comportent habituellement de trois ou quatre à une ou plusieurs douzaines de circuits d'alimentation suivant différentes directions et desservant des sections différentes. Il est exactement aussi facile de les diviser en circuits d'éclairage à trois fils qu'il y a de quartiers ou de districts que si tous les circuits étaient alimentés par des courants sans différence de phase. Si donc la distribution peut se faire suivant le système à trois fils, la dépense de cuivre sera alors sensiblement réduite et pourra ne pas dépasser celle du système à trois fils.

En ce qui concerne le système diphasé à trois fils, le chiffre 145,5 a été donné pour le poids relatif de cuivre correspondant, avec réduction possible à 72,8 si la f. é. m. peut être poussée au-dessus de celle supposée pour le premier chiffre du diagramme, qui est celle du système ordinaire à deux fils. L'hypothèse qui a présidé à l'établissement de ces trois chiffres est évidemment celle d'une f. é. m. définie pour l'alimentation des lampes. Si cette f. é. m. est admise pour les divers diagrammes, le chiffre de 72,8 est un chiffre convenable. Si, au contraire, on est limité par la considération de la différence de potentiel, on a dans le circuit ordinaire à trois fils une f. é. m. double de celle du circuit ordinaire. Si, d'autre part, on adopte cette même f. é. m. pour les circuits diphasés à trois fils, la quantité de cuivre n'est plus alors de 72,8 mais de la moitié seulement, soit 36 environ, de sorte que le chiffre 145,5 rapporté à ce diagramme n'est plus en concordance avec l'hypothèse de la f. é. m. régie par les lampes en circuit; et, si la f. é. m. la plus élevée permise est celle du circuit à trois fils, le chiffre nouveau pour le poids de cuivre dans le système diphasé à trois fils doit être 36 comparativement aux autres chiffres.

Un autre point relatif aux lignes est le défaut d'équilibre des circuits. On a dit que le circuit diphasé à trois fils était exposé à un défaut d'équilibre par suite de la réaction de l'un des circuits sur l'autre. S'il en est en effet ainsi dans certains cas, le fait se présente rarement en fonctionnement. — La question suivante, si l'on parcourt les circuits de transmission, est celle du transformateur. Les appareils destinés à transformer une puissance fournie par système diphasé, dans lequel un transformatenr correspond à chacune des deux phases, sont identiques à ceux du système alternatif simple. Pour le système triphasé, dans lequel des transformateurs sont en connexion avec chaque paire de conducteurs principaux, la capacité de conversion est la même ; autrement dit, si l'on a six transformateurs, on peut les relier en parallèle sur le circuit alternatif simple, ou les connecter en deux jeux de trois chacun sur un système diphasé, ou bien encore les répartir en trois groupes de deux chacun sur des circuits triphasés, et chacun d'eux aura la même capacité individuelle dans chaque cas. Mais si ces

Digitized by Google

transformateurs sont connectés comme dans le diagramme illustrant le système monocyclique à deux fils, alors, ainsi qu'on l'a déjà relevé, ils ne fonctionnent pas de la manière ordinaire. Bien que la f. é. m. qui leur est appliquée puisse être normale, les courants circulant dans les transformateurs diffèrent de ceux qui circulent dans les cas ordinaires. Ils sont décalés par rapport à la f. é. m. qui agit sur les transformateurs, et la puissance de ceux-ci est réduite d'une façon très appréciable, soit de 16 p. 100 environ. Il faudrait ainsi des transformateurs de puissance supérieure d'un sixième à peu près pour actionner un moteur dans ce système, comparativement à ceux qui seraient nécessaires si le même moteur était alimenté suivant les systèmes di ou triphasés.

Les transformateurs, dans le système monocyclique à trois fils, paraissent également devoir posséder une capacité plus grande. En effet, si le grand transformateur de ce diagramme est celui qui alimente l'éclairage et actionne le moteur quand celui-ci fonctionne, le petit transformateur auxiliaire n'est alors utile qu'au démarrage et ne contribue en rien au réglage du moteur, d'après l'hypothèse d'où nous sommes partis. Ce transformateur est en conséquence un appareil additionnel à ajouter au système.

En ce qui concerne le moteur lui-même, il n'est autre, dans le système monocyclique à deux fils, qu'un moteur triphasé et rien de plus. Je comprends, dit M. Scott, que les moteurs employés sont du type étalon à trois fils, et le moteur lui-même ignore où il puise son alimentation, si c'est à un système triphasé régulier ou à un système monocyclique à deux fils. Les transformateurs, pour ce moteur, dans le système triphasé à trois fils, seraient naturellement du même type. On semble donc avoir supprimé ici une partie du système en retranchant un des transformateurs. Le montage symétrique n'existe plus ; on alimente le moteur par deux transformateurs seulement, ce qui conduit au résultat précédemment signalé, c'est-à-dire à une plus grande capacité de transformateurs. Le renversement de la bobine secondaire de l'un des transformateurs, si je comprends bien les connexions et le montage, pourrait être évité, et le transformateur serait connecté directement sans cette inversion, si les primaires de ces transformateurs étaient directement reliés aux conducteurs triphasés. Supposons alors qu'on ait un système à trois conducteurs triphasés reliés à trois transformateurs alimentant respectivement les trois circuits du moteur ; si l'on vient à retirer un de ces transformateurs, le moteur continuera à tourner, mais les transformateurs ne se comporteront plus de même au point de vue du rendement. Si l'on change la relation du fil médian à la dynamo, ou la f. é. m. sur ce fil, on peut effectuer ce changement dans une proportion telle que les phases des deux circuits primaires n'aient plus leur relation précédente, et que, au lieu d'un décalage d'un tiers de période, on n'en ait plus qu'un d'un sixième de période. Dans ce cas il devient nécessaire de renverser un des secondaires de manière à obtenir deux courants décalés d'un tiers de période pour actionner le moteur. Avec la bobine auxiliaire enroulée d'un nombre de spires différent de façon à donner une f. é. m. plus élevée, on pourrait avoir ainsi un générateur triphasé alimentant directement des conducteurs triphasés. Ce qu'on semble dès lors avoir ce sont en réalité les éléments du système triphasé légèrement tordus sur eux-mêmes par changement de la f. é. m. sur le fil médian, renversement du secondaire de l'un des transformateurs, et mise hors circuit du troisième transformateur. C'est ce qui se passe pour le moteur fonctionnant sur le système monocyclique à deux fils.

Le moteur dans le système à trois fils paraît présenter des relations légèrement différentes. Ce n'est pas pour moi un moteur triphasé, mais un moteur diphasé, et il est à ce titre plutôt plus intéressant.

Sur une interruption du *Dr Bell* soutenant que c'est bien un moteur triphasé, identique à l'autre, *M. Scott* répète que, sur les dia-

Digitized by Google

grammes donnés de ce moteur monocyclique, il l'a pris pour un moteur diphasé, les deux enroulements étant présentés dans le schéma comme deux bobines montées à angles droits l'une par rapport à l'autre. Il s'agit précisément de bien s'entendre sur la véritable nature de ces moteurs, et il lui paraît résulter des diagrammes et explications produits que ce moteur est bien un moteur diphasé, dont l'un des circuits est enroulé exactement comme dans le générateur monocyclique. On l'a en effet indiqué précédemment comme tel, et le générateur monocyclique est donné comme un alternateur ordinaire avec un enroulement entièrement droit d'un bout à l'autre et muni de la petite bobine auxiliaire reliée entre le milieu de l'enroulement précédent et une troisième borne. S'il en est ainsi, le moteur lui paraît être soit un moteur ordinaire soit un moteur diphasé, son mode de fonctionnement n'ayant pas été complètement expliqué.

J'ai donc pris, poursuit-il, ce moteur pour un moteur alternatif simple quand il fonctionnait à sa vitesse normale, mais au fond pour un moteur diphasé alimenté par les trois fils partant de deux transformateurs dont les f. é. m. sont décalées d'un quart de période ou ont entre elles la relation de phase du moteur diphasé. On applique donc sur ce moteur la puissance de deux transformateurs fonctionnant avec un décalage d'un quart de période. Tous les circuits du moteur sont actifs tandis que le moteur atteint sa vitesse de régime. L'un des enroulements du moteur diffère légèrement de ceux du transformateur; il n'est pas exactement proportionné dans les deux parties de son circuit à la f. é. m. fournie, de sorte que, pour sa vitesse de régime, l'un des circuits supporte toute la charge. Le cas est tout à fait analogue à celui de deux transformateurs reliés en parallèle, et dont l'un fournirait 100 volts contre 99 fournis par l'autre. Si l'on charge les deux transformateurs ainsi connectés jusqu'à ce que la f. é. m. tombe à 99 volts, l'un des transformateurs supportera alors toute la charge, tandis que l'autre ne travaillera pas. Le moteur ici décrit est, si je le comprends bien, identique à celui décrit dans les brevets accordés à M. Steinmetz. Il me semble en conséquence très analogue à une sorte de moteur diphasé mutilé qui serait plus fort d'un côté que de l'autre. Les deux circuits concourent efficacement à amener la machine à sa vitesse de régime et alors un des circuits prend toute la charge, l'autre n'ayant que peu à faire. Le moteur en tournant à pleine vitesse et effectuant son travail régulier fonctionne comme un simple moteur alternatif. Or un moteur simple de cette classe ne supporte pas la même charge qu'un moteur diphasé. Quiconque a fait fonctionner des moteurs diphasés sait qu'on peut couper un des circuits et que la machine continue à marcher, mais ne supporte plus la même charge que précédemment. S'il en est ainsi, le moteur monocyclique serait plutôt un moteur diphasé amoindri.

Il est encore un point sur lequel M. Scott regrette de ne pas être d'accord avec M. Steinmetz; c'est sa définition d'un système ou d'un moteur polyphasé. Il lui a plu de dire qu'une différence de phase dans la f. é. m. sans différence de phase du courant ne constituait pas un système polyphasé, et il a fait ressortir que, si une bobine et une lampe sont montées en série, la f. é. m. mesurée directement sur la lampe et celle mesurée directement sur la bobine ne sont pas en concordance de phase, mais décalées l'une par rapport à l'autre. Il en est de même si la bobine et la lampe sont montées en parallèle, de manière à présenter à leurs bornes la même f. é. m.; les intensités ne sont pas en concordance de phase. Mais il soutient qu'aucun de ces deux cas ne constitue un système polyphasé parce que le flux d'énergie n'est pas constant. Si un flux constant d'énergie peut être pris comme définition d'un système polyphasé, il en est de même d'une différence de f. é. m. ou d'intensité.

Un système polyphasé tel que je le comprends n'implique pas, dit-il, que la f. é. m. puisse être une chose en un point du circuit et une autre en un autre point quelconque, soit à

Digitized by Google

grande distance soit pour une pièce différente d'appareil ; cela ne constitue pas nécessairement un système polyphasé ; mais si les deux éléments différents avec une différence de phase déterminent le fonctionnement de cet appareil, on a alors l'essence d'un système polyphasé. Etant donné un moteur, si l'on roule ses circuits de telle sorte qu'ils diffèrent comme capacité ou comme self-induction, si les courants dans les divers circuits diffèrent en phase et que, grâce à cela, l'appareil fonctionne et le moteur tourne, on a alors un ensemble qu'on peut légitimement considérer comme un appareil polyphasé. Un appareil fonctionnant par suite d'une différence de phases est bien l'élément caractéristique des moteurs polyphasés. L'élément qui détermine la rotation, l'élément fondamental, paraît être la torsion du champ magnétique dans l'appareil. Il n'est pas fondamentalement essentiel au fonctionnement d'un appareil de ce genre que les courants fournissent à chaque instant à l'appareil des quantités égales de puissance. mais bien que l'alimentation s'effectue dans des conditions telles qu'elle donne le champ magnétique tordu qui détermine la rotation et la marche de l'appareil. J'appellerai en conséquence machine polyphasée une machine possédant une torsion de champ magnétique d'un grand nombre de phases ou des courants produisant ces champs magnétiques, plutôt qu'une machine envoyant dans les appareils un flux constant d'énergie.

On dit que le troisième fil fonctionnant dans le système monocyclique à trois fils est un fil qui ne transmet pas de puissance. Ce fil à pour objet d'actionner le moteur pendant qu'il atteint sa vitesse de régime. Les deux grands problèmes en ce qui concerne un moteur à courants alternatifs consistent d'abord à porter le moteur à sa vitesse, puis à le maintenir à cette vitesse. Ce sont là deux problèmes différents et l'on a recours à diverses méthodes pour arriver à ces deux résultats. Souvent les éléments qui contribuent à assurer l'un d'eux nuisent à la réalisation de l'autre. Or, si je comprends bien ce moteur, le troisième fil, s'il ne fournit pas nécessairement de la puissance au moteur quand il a atteint sa pleine vitesse, contribue à lui fournir celle dont il a besoin pour arriver à cette vitesse, et il continuerait à lui en fournir, au lieu de rester inerte et d'immobiliser autant de cuivre dans le système, si le moteur était complet et symétrique au lieu d'être tronqué comme il doit l'être pour satisfaire aux exigences du système.

Reprenant la parole dans cette discussion, le *Dr Bell* accorde que le système monocyclique est une modification de quelque chose. Mais doit-il être considéré comme rentrant dans un système alternatif simple, un système diphasé ou un système polyphasé d'une certaine espèce? Suivant lui, M. Steinmetz a clairement répondu à la question en établissant qu'on doit considérer comme polyphasé un système dans lequel la puissance reste constante ; c'est le caractère commun à tous les systèmes polyphasés, uniformément équilibrés ou non. Dans le système monocyclique on a trois courants concordant essentiellement en phase l'un avec l'autre, et la puissance totale passe par zéro. Il est difficile d'imaginer une extension aussi large que possible de la définition d'une machine polyphasée qui arrive à embrasser ce cas. Tout ce qu'on pourrait dire c'est que le défaut d'équilibre d'un système polyphasé pourrait en arriver au point que la puissance totale passât effectivement par zéro. S'il en est ainsi, on peut aussi bien envisager ce cas limite pour le système ordinaire que pour le système polyphasé. Il est certain que, par son mode de fonctionnement, le système monocyclique rappelle un système polyphasé ; mais le caractère des courants qui s'y développent et la distribution de l'énergie en font essentiellement un système alternatif simple.

Les remarques de M. Scott sur la liaison à quatre fils du système diphasé, et sur la liaison à trois fils dans ce même système sont très intéressantes. Mais, avec une liaison à quatre fils, il est naturellement possible d'employer, si l'on veut, sur chaque branche le système Edison à trois fils ; seulement, pour fonctionner ainsi

Digitized by Google

et pour actionner en même temps des moteurs, il faut séparer les deux systèmes à trois fils ; autrement dit, il faut employer deux systèmes à trois fils, chacun d'eux étant sensiblement équilibré quant à lui-même, et chacun des systèmes à trois fils étant équilibré par rapport à l'autre faisant partie du même réseau. Il faut les réunir pour l'alimentation des moteurs, et c'est pour cette raison que, suivant lui, on ne peut dans le système diphasé à quatre fils employer la liaison du système Edison à trois fils, de même que, et encore bien plus, le système triphasé ne peut faire fonctionner sur chacune de ses trois phases un système Edison à trois fils. Il en résulterait pour une distribution générale une complication de circuits absolument inextricable ; deux systèmes à trois fils dans le même district, et chacun d'eux équilibré par rapport à l'autre ; c'est plus facile à imaginer qu'à décrire. On peut l'appliquer dans certains cas, pour l'éclairage seulement, parce qu'on est libre de disséminer les circuits ; mais, même alors, on est obligé d'équilibrer plus ou moins les deux systèmes ; autrement on a des perturbations résultant d'une charge inégalement répartie des deux côtés de la machine, ce qui se traduit par une chute de potentiel qui ne peut être compensée par compoundage.

Pour le système diphasé à trois fils, M. Scott a bien placé la question sur le terrain de la tension maxima. Si cependant on s'attache au maximum permis sur la ligne de transmission où il n'y a pas à s'inquiéter du maximum sur le système de distribution aux appareils de translation, mais du maximum permis sur l'ensemble du système, et si on s'y confine, on reconnaît que la combinaison du système diphasé à trois fils exige un poids excessif de cuivre. Si l'on se confine au système secondaire seulement, il est possible de permettre la même tension maxima que dans le système direct Edison à trois fils, et l'on peut dire que la même règle de réduction du cuivre s'applique au système triphasé à trois fils ou à tout autre système, à différents degrés selon leur caractère.

Quant à la question de défaut d'équilibre, je pense avoir nettement établi, continue-t-il, que, avec un système polyphasé quelconque, bien que ce défaut puisse se présenter, même poussé assez loin, ce n'est pas un cas fréquent. Il est d'ailleurs commun à tous les systèmes polyphasés en général.

En ce qui touche la réduction de capacité des transformateurs fonctionnant sur des systèmes triphasé ou monocyclique, il y a en fait trois modes de fonctionnement pour un système triphasé par rapport à ses transformateurs. On peut d'abord avoir un transformateur multiple relié aux trois branches des circuits, ce qui a été appliqué avec d'excellents résultats. On peut ensuite se servir de trois transformateurs, et finalement n'en employer que deux. Il est parfois plus avantageux d'en employer trois, et quelquefois deux. Il ne faut pas oublier qu'on ne trouve pas couramment des transformateurs ni des moteurs de toutes dimensions. Aussi est-il parfois difficile de se procurer des transformateurs s'adaptant exactement à des moteurs de puissance déterminée, et la capacité que l'on perd en employant des transformateurs trop puissants pour les moteurs (on est toujours sûr d'en trouver d'assez grands) atteint aisément 10 ou 15 p. 100, aussi bien avec trois phases qu'avec deux, et, à moins d'avoir des transformateurs spécialement adaptés aux moteurs, on est exposé à exiger une capacité totale trop grande de transformateurs, dans le système diphasé comme dans le système triphasé.

La connexion du transformateur triple pour le circuit triphasé offre un avantage très réel qui le désigne peut-être à l'emploi dans bien des cas ; si, en effet, un des transformateurs se trouve pour une raison quelconque mis hors de service, on peut, avec les deux autres, fonctionner au moins aux deux tiers de la puissance ; tandis que, dans le système diphasé, si un transformateur cesse de fonctionner, le moteur est hors de service par surchage et arrêt absolu, ou bien il peut fonctionner à demi-puissance comme moteur alternatif simple, mais en tout cas ne démarre pas avant que le

Digitized by Google

transformateur ne soit rétabli. Si l'on emploie deux transformateurs on a dit que la perte de puissance par connexion de transformateurs triphasés est de 16 p. 100 environ. Il serait bon d'en voir la démonstration expérimentale. Un grand nombre d'articles techniques bien faits ont avancé que la puissance d'une machine polyphasée était dans tel ou tel rapport avec une machine à courants alternatifs simples ; mais souvent les faits n'ont pas confirmé la théorie. On donne maintenant des renseignements analogues pour les transformateurs. A défaut d'éléments de discussion sans expériences préalables, il serait utile de voir si la différence de puissance atteint une grandeur d'ordre pratique.

En ce qui touche le transformateur supplémentaire, on peut considérer le transformateur secondaire dans le système monocyclique à trois fils comme faisant pratiquement partie du fil de moteurs. Il n'a besoin d'avoir que de petites dimensions et ne fournit qu'une faible quantité de puissance, étant donné qu'un seul transformateur alimente le fil de moteurs pour tout le système à trois fils. Il ne fait pas partie de chaque moteur, mais partie d'un fil de moteurs, et peut en cette qualité être considéré comme élément constitutif de l'installation du système à trois fils. Le petit transformateur unique dans le système alimente tout le fil de moteurs pour l'ensemble du système.

Quant au moteur dans le système monocyclique à deux fils, il est correct, dans un sens, de dire que le moteur ignore s'il est sur un système triphasé ou monocyclique. Son fonctionnement n'a rien à faire avec le sens des f. é. m. qui agissent en lui.

Le système auquel il est soumis est, à cet égard, parfaitement indifférent ; mais, en ce qui touche la nature et le sens des courants, s'il était possible d'introduire un ampèremètre dans les bobines mêmes du moteur, on trouverait une très grande différence dans la distribution de ces courants.

Au point de vue de ses qualités magnétiques, il n'y aurait rien de particulier, bien que la distribution réelle du courant soit grandement modifiée. On a dans le moteur monocyclique d'induction un moteur qui, comme qualités de fonctionnement, est semblable à un moteur polyphasé. Toutefois, la distribution interne des courants dont il est le siège, tout en aboutissant à une production parfaitement symétrique de puissance motrice, est différente de ce qui se rencontre dans un moteur polyphasé quelconque. Elle dépend de ce qu'on demande spécialement au système monocyclique. Il est le siège d'un courant alternatif simple, bien que son action, en ce qui concerne le magnétisme, soit absolument semblable à celle d'un véritable moteur polyphasé.

En ce qui concerne le moteur dans le système monocyclique à trois fils, il n'est nullement, quoi qu'en dise M. Scott, un moteur diphasé. C'est un moteur d'induction ordinaire susceptible d'être employé indifféremment dans les systèmes triphasé ou monocyclique. L'enroulement d'un moteur monocyclique est à tous égards identique à celui d'un moteur triphasé. Il est possible et parfois très avantageux de faire fonctionner un générateur monocyclique comme moteur synchrone ; ainsi employé, il fonctionne constamment comme tout autre moteur synchrone. Dans ce cas, le moteur démarre seul et la bobine supplémentaire, quand le moteur a atteint sa vitesse de régime, n'a pas d'action sur le système si le moteur est bien étudié au point de vue de la suppression de la f. é. m. du circuit auxiliaire. Dans le système monocyclique à trois fils on a d'abord une structure de moteur triphasé, mais il fonctionne sur un circuit monocyclique à trois fils et à fil auxiliaire, et présente les propriétés et la distribution de courants, autrement dit le caractère électrique, du système alternatif simple. Les détails exacts de fonctionnement dans un moteur monocyclique sont quelque peu compliqués. On a en gros une structure qui, dans tous ses caractères essentiels, ne peut fonctionner que sur des circuits monocycliques ou triphasés. Les courants qui s'y développent ne sont pas cependant des courants triphasés, bien que les f. é. m.

Digitized by Google

soient décalées d'un tiers de période. Les courants sont effectivement en concordance de phase, mais le magnétisme produit est réparti de manière à donner un couple moteur parfaitement symétrique, exactement comme dans le cas d'un circuit polyphasé. Ce point justifie, d'après M. Bell, l'observation faite par lui au début que le système monocyclique doit être regardé, non pas comme un système alternatif simple modifié et amélioré, non plus que comme un système polyphasé démodé et amoindri, mais bien comme un système d'un genre tout à fait à part.

Malgré certaines longueurs et redites inévitables de cette discussion, nous avons tenu à

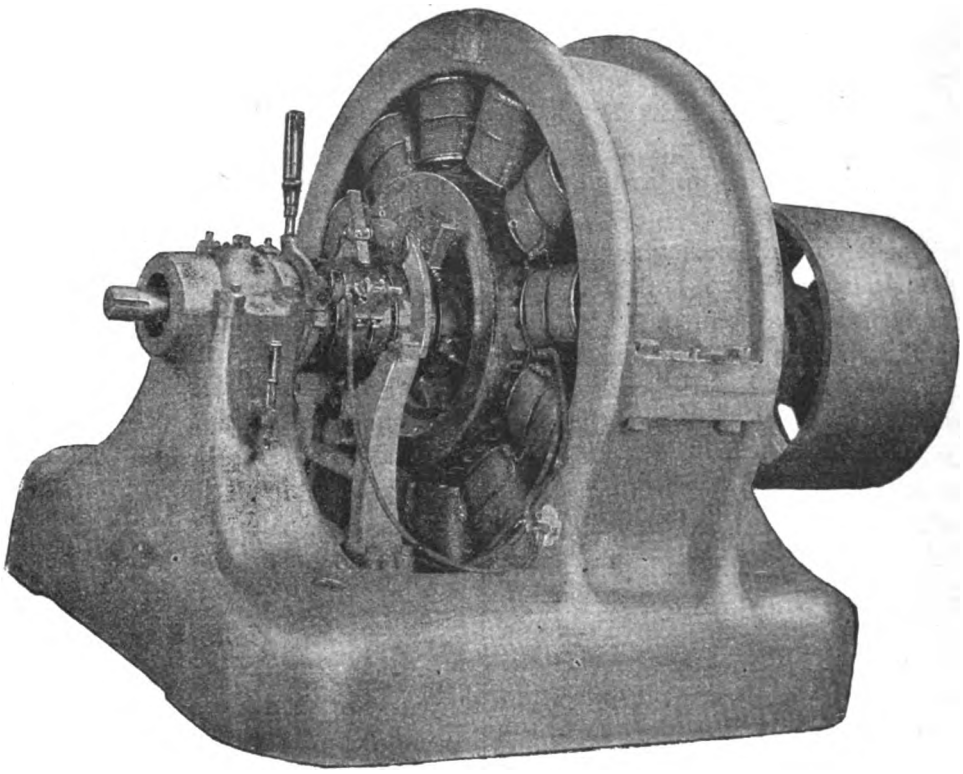


Fig. 14.

ne pas trop en abréger le compte rendu. Elle nous a paru féconde en vues de différentes natures sur les divers systèmes alternatifs actuellement appliqués dans l'industrie. Elles pourront provoquer chez nous, comme elles l'ont déjà fait en Angleterre et en Amérique, des controverses intéressantes que nous serons heureux d'enregistrer.

Quant à la forme et à l'aspect extérieur des appareils, ils diffèrent peu de ceux des alternateurs et moteurs à courants alternatifs ordinaires. Nous en donnons (fig. 14 et 15) des reproductions empruntées au Bulletin de la Société Thomson-Houston entre les mains de laquelle se trouve ce système et qui, si nous sommes bien informés, doit prochainement nous en montrer une application soit au Havre soit dans une des expositions particulières qui se préparent actuellement.

Ces alternateurs monocycliques se construisent d'ailleurs couramment en sept types dont le nombre de pôles varie de 8 à 24 suivant la puissance, comprise elle-même entre 50 et 750 kilowatts. Leur vitesse angulaire est de 900 à 300 tours par minute; le nombre de volts

Digitized by Google

qu'ils fournissent, de 1 040, 2 080 et 3 120 sans charge pour 1 150, 2 300 et 3 450 à pleine charge; et leur débit, de 22 à 650 ampères.

Des applications spéciales ont en outre déterminé la création d'alternateurs puissants à faible vitesse angulaire et à attelage direct, tels qu'un de 300 kw. à 150 tours par minute, et un de 500 kw. à 60 tours par minute dont l'induit seul ne pèse pas moins de 45 tonnes.

La fréquence adoptée est de 60 périodes par seconde, correspondant à 7 200 alternativités par minute. Elle à l'avantage de donner peu de self-induction dans la ligne, sans augmentation sensible dans le coût des transformateurs.

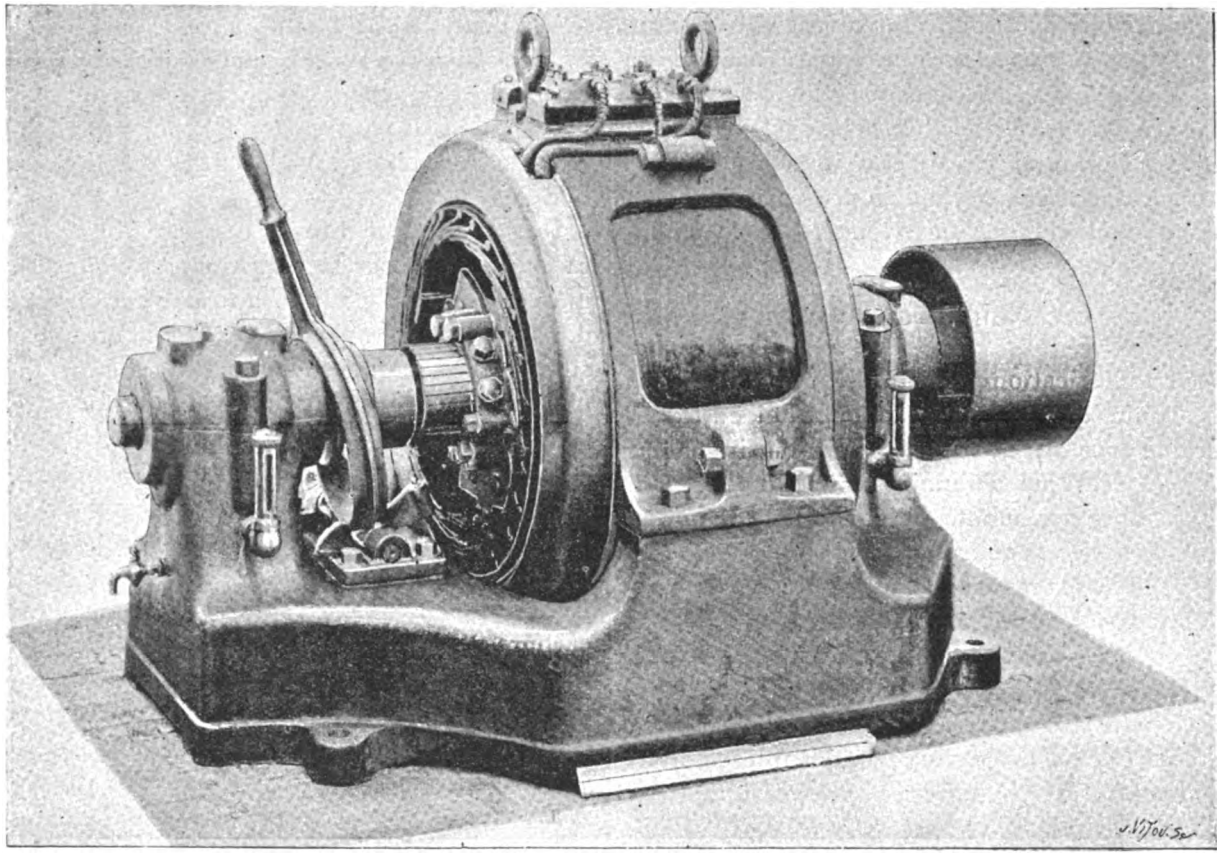


Fig. 15.

Ceux-ci s'établissent d'ailleurs pour des puissances de 600 à 15 000 kw. échelonnées sur sept types, avec ou sans huile. Au delà les transformateurs sont du type de sous-stations, construits de façon à permettre une libre circulation d'air qui réduit leur échauffement et augmente leur rendement. Leur puissance varie de 40 à 325 kw.

Le nombre des installations déjà en service en Amérique augmente rapidement; on en compte actuellement 18 représentant ensemble une puissance de 3 568 kw. Ce résultat, au bout de quelques mois d'existence, est un éloquent indice de succès. E. BOISTEL.

A PROPOS
DU CARBURE DE CALCIUM

D'après une traduction d'un journal américain (1) l'*Éclairage Électrique* a déjà signalé

(1) The journal of the Franklin Institute, janvier 1895; l'*Éclairage Electrique*, 19 janvier 1895, p. 126.

Digitized by Google

ce nouveau produit industriel du four électrique, le carbure de calcium, dont la préparation et les propriétés ont été décrites par M. H. Moissan (1).

On sait que le carbure de calcium s'obtient par la réduction de la chaux par le charbon à la haute température du four électrique et que le produit obtenu se présente sous forme d'une matière fondue, d'un noir mordoré, à cassure cristalline rappelant celle de l'acétate de sodium fondu et de densité égale à 2,22.

Un carbure de calcium avait déjà été obtenu par voie chimique à l'état impur, en petite quantité et on savait qu'en présence de l'eau, il donnait du gaz acétylène et de la chaux hydratée.

$$CaC^2 + 2H^2O = C^2H^2 + Ca(OH)^2$$

La fabrication industrielle du carbure de calcium est pratiquée aujourd'hui en Amérique par M. Thomas L. Willson, ingénieur de la fabrique d'aluminium de Spray (North Caroline) et se monte en ce moment en Europe dans plusieurs endroits.

Toutes les revues techniques et à leur suite la presse quotidienne, semblent attribuer la découverte du carbure de calcium à M. Willson.

Les articles qui ont paru jusqu'ici en France, n'ont été que des traductions des intéressantes communications faites en Amérique par MM Wyatt (2), Suckert (3). Morton (4) ou des conférences faites à Londres ou à Berlin par MM. Lewes (5), Frank (6), Hempel, etc. Il n'est pas étonnant que les Américains aient oublié les études du savant français, M. Moissan, mais il est au contraire surprenant que les traducteurs français les aient tant oubliées.

Nous nous permettrons de rappeler que c'est le 5 mars 1894 (1) que M. Moissan publiait ses recherches sur la préparation et les propriétés du carbure de calcium C^2Ca, préparé au four électrique et que les bruyantes communications américaines auxquelles nous faisions allusion sont postérieures à cette date : elles sont de la fin de 1894 et du commencement de cette année.

D'ailleurs M. Moissan a signalé en 1892 la production au four électrique d'un carbure de calcium (2) de composition inconnue obtenu par l'action de la vapeur de calcium provenant de la réduction de la chaux sur le charbon des électrodes.

Il y a bien un brevet de M. Willson du 21 février 1893 sur la réduction des composés métalliques réfractaires au four électrique dans lequel il signale comme devant être possible la fabrication d'un grand nombre de métaux et aussi à leur suite du carbure de calcium.

Mais si l'on examine le procédé employé, on voit bientôt qu'il ne peut pas donner le produit préparé par M. Moissan, puisque l'auteur insiste sur la nécessité d'empêcher toute fusion de la masse. De plus, ce simple mot, carbure de calcium, est insuffisant et vague : il peut exister bien des carbures correspondant aux différents carbures d'hydrogène connus.

Or le brevet de 1893, qui ne donne pas de mode de préparation, n'indique ni la composition du carbure, ni ce caractère particulier du carbure C^2Ca de dégager de l'acétylène au contact de l'eau, caractère qui donnerait une identité et fixerait la composition du produit.

Dans ce même brevet de four *sans bain de fusion*, M. Willson admet la fabrication du titane avec sa méthode; M. Moissan affirme la chose impossible sans fusion des matières à réagir, les produits obtenus étant des azotures.

D'ailleurs, plus récemment, M. Willson, dans une demande de brevet en instance cette année en Allemagne, reconnaît que la fusion est indis-

(1) *Comptes rendus*, 5 mars 1894, p. 501.
(2) *Engineering and Mining Journal*. New-York, 15 décembre 1894.
(3) Franklin Institute cité par M. Urbain dans la *Revue générale des Sciences*, mai 1895.
(4) E. Hospitalier. *La Nature*, 26 janvier 1895.
(5) *Moniteur Quesneville*, juin 1895, p. 444.
(6) *Moniteur Quesneville*, juin 1895, p. 409.

(1) *Comptes rendus*, 5 mars 1894.
(2) *Comptes rendus*, 12 décembre 1892.

Digitized by Google

pensable pour la préparation du carbure, condamnant ainsi sa manière de faire de 1893.

Il est du devoir des journaux français de rendre à M. Moissan la part légitime à laquelle il a droit dans cette invention dont il ne revendique que l'honneur, puisqu'il a laissé à d'autres la faculté de l'exploiter industriellement.

M. L. Bullier, le premier, a montré que l'acétylène produit par le carbure de calcium était susceptible d'être employé à l'éclairage et ses brevets qui ont rendu pratique la fabrication du carbure de calcium et par suite celle de l'acétylène, garantissent l'*invention française*, si bien que la Société *La Carbide* qui a monté la fabrication du carbure en Allemagne a dû acquérir les brevets de M. Bullier.

En France, on va monter une usine hydraulique de 3 000 chevaux ; on a dit déjà que les usines d'aluminium de Neuhausen allaient se mettre à fabriquer du carbure.

A Paris, les études pour l'application de l'acétylène à l'éclairage commencées depuis longtemps se poursuivent. On sait en effet que le pouvoir éclairant de ce gaz est considérable. Avec des prix de 75 francs la tonne américaine le carbure de calcium permettrait la préparation facile d'un gaz d'éclairage capable d'entrer en sérieuse concurrence avec notre vieux gaz de houille qui a pourtant bien du bon avec tous ses sous-produits.

Nous avons visité l'usine de démonstration, nous avons vu fabriquer le gaz acétylène dans un grand récipient de fonte, muni d'un manomètre, récipient dans lequel on fait réagir l'eau sur le carbure.

L'acétylène dégagé se rend dans un gazomètre, on le mélange avec des volumes variables de gaz azote préparé par l'action de l'air sur le cuivre ou sur le charbon.

Ce mélange, sous la pression du gaz ordinaire, brûle avec une flamme fixe et éclatante dans les appareils à gaz courants. Alors que le bec Auer donne un carcel-heure avec 20 litres de gaz ordinaire, un mélange convenable d'acétylène et d'azote donne le carcel-heure avec 4 litres.

En Amérique c'est de l'air ordinaire que l'on mélange au gaz combustible. C'est par excès de prudence que les essais en France ont été faits avec des gaz inertes comme l'azote ou l'acide carbonique. Avec les becs existants, il est nécessaire de diluer le gaz pour avoir une combustion complète et une flamme non fumeuse. Au moyen de becs spéciaux à introduction d'air, M. Bullier arrive à brûler l'acétylène pur, venant des gazomètres ou produit au fur et à mesure par l'action ménagée de l'eau sur le carbure convenablement moulé. M Bullier emploie aussi l'acétylène liquéfié (49 atm. à 12 degrés). Un détendeur ramène le gaz à une pression convenable qui lui permette de brûler dans des becs *ad hoc*, disposés pour l'éclairage des wagons.

Le professeur Lewes, de Greenwich, qui s'est fait le publiciste des essais d'éclairage à l'acétylène en Angleterre, a déterminé le pouvoir éclairant de ce nouveau gaz d'origine électrique et l'a trouvé quinze fois plus éclairant que le gaz ordinaire. M. Bullier nous a démontré que ce chiffre était de beaucoup au-dessous de la vérité.

Si on admet que 3 kg. de carbure donnent environ 1 m³, ce mètre cube vaudrait 0 fr. 30 en comptant 200 francs la tonne de carbure, prix beaucoup au-dessus de celui donné ces jours derniers par la fabrique américaine; dans ces conditions, le gaz électrique serait plus économique que le gaz ordinaire.

A propos de ces projets d'éclairage, on a signalé que l'acétylène étant formé avec absorption de chaleur était un corps explosif et que d'ailleurs M. Berthelot était arrivé à le faire détoner avec une capsule de fulminate.

On a dit aussi que l'acétylène formait par union directe avec le cuivre des composés détonants; c'est inexact et jusqu'ici les tubes de cuivre, les robinets de bronze et de laiton se sont bien comportés et ne se sont nullement altérés à l'usine d'essai de Paris.

M. Bullier nous a signalé l'action de l'acétylène sur le fer *chauffé ;* c'est ainsi que les becs en fer sont rapidement rougis et désagrégés avec formation de carbure de fer.

On a dit aussi que l'acétylène était toxique;

Digitized by Google

de nouvelles expériences sont à faire pour le confirmer, mais en admettant cette toxicité, ne sait-on pas que le gaz renferme jusqu'à 10 p. 100 d'oxyde de carbone autrement toxique que l'acétylène.

Il est impossible actuellement de prévoir ce que donnera l'exploitation du nouveau produit du four électrique. Il est tout au moins curieux de voir l'électricité fabriquer du gaz éclairant transportable en paquets, du gaz qui, mélangé avec une quantité considérable d'air, peut être employé dans des moteurs. Il n'y a pas d'ailleurs que l'industrie de l'éclairage, du chauffage et de la force motrice qui puisse utiliser l'acétylène, déjà on s'en sert pour fabriquer un succédané de l'iodoforme, antiseptique comme lui et inodore, le diodoforme de M. Maquenne qui est le protoiodure de carbone découvert par M. Moissan.

Avec l'acétylène, on peut réaliser la fabrication des cyanures si employés aujourd'hui dans la nouvelle métallurgie de l'or.

Mais c'est surtout l'éclairage qu'on cherche à faire et c'est ce qui a fait ces temps derniers tout ce grand mouvement autour de cette fabrication du carbure de calcium.

A. RIGAUT.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Perceuse électrique mobile de Kodolitsch (1).

La figure 1 représente cette perceuse qui est employée dans les chantiers de la Compagnie autrichienne Lloyd de navigation à vapeur. Cette machine est montée sur roues ; le moteur complètement enfermé dans une carcasse en fonte, attaque la mèche par un train d'engrenages ; il est monté sur pivots, en sorte qu'il peut prendre facilement une position quelconque. Lorsque la forme ou la position de la pièce à percer ne permet pas de se servir directement de cet appareil, on monte une perceuse spéciale, de forme convenable, sur cette pièce et le moteur l'attaque au moyen d'une transmission flexible.

Les ateliers de la Compagnie Lloyd emploient plus de 2 000 ouvriers et ce n'est qu'accidentellement que quelques perforations sont faites à la main. Un réseau de conducteurs électriques s'étend dans tous les ateliers et chacun de ceux-ci est muni de plusieurs perceuses et de câbles de connexion, en sorte

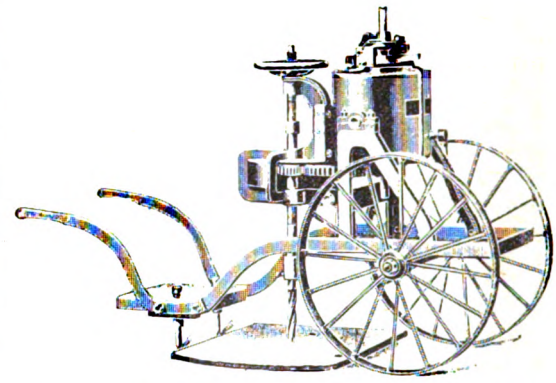


Fig. 1. — Perceuse électrique mobile de Kodolitsch.

que lorsqu'un ouvrier doit percer un trou, il n'a qu'à rouler la machine sur place et termine l'opération à son établi, ce qui permet d'économiser beaucoup de temps.

La machine représentée dans notre gravure est spécialement montée pour percer dans le pont des navires les trous destinés à recevoir les vis qui maintiennent le plancher. Un ouvrier avec son aide peuvent, paraît-il, percer par jour 400 trous de 1,25 cm. de diamètre dans une plaque de 1,25 cm. d'épaisseur ; quand la même machine est employée à fraiser des trous déjà faits, la mèche n'est pas avancée par la roue à vis ; l'ouvrier l'enlève simplement en soulevant les brancards du chariot, puis pousse celui-ci en face du trou suivant ; le travail fourni atteint dans ces conditions 800 à 1 000 trous par jour.

Ces machines permettent de réduire beaucoup la main d'œuvre. Un grand condenseur

(1) D'après *Engineering*. 24 mai 1895, p. 666.

Digitized by Google

peut ainsi être complètement perforé sur un côté tandis qu'il est plané sur le second. Un condenseur pour une machine marine de 5 000 chevaux indiqués a pu ainsi être fini complètement sans être bougé du banc de la machine à planer. Quand il est nécessaire, les perceuses peuvent être suspendues à une poulie afin de travailler dans une position quelconque. Dans les chantiers, ces machines ont rendu de grands services, non seulement pour percer et fraiser les trous des rivets et des boulons, mais aussi pour découper les écoutilles, hublots et écubiers.

G. P.

Sur l'altération des propriétés magnétiques du fer, par le professeur Ewing.

Nous avons résumé dans l'*Éclairage Électrique* du 16 février dernier, page 307, les principales observations qui avaient été faites sur les variations qu'éprouverait le fer au point de vue magnétique quand on le soumet à de nombreux cycles d'aimantation. On pouvait conclure que l'augmentation de la perte par hystérésis dans les transformateurs en service permanent devait être attribuée à l'altération du fer sous l'action d'une élévation de température prolongée, mais qu'à la température ordinaire des aimantations alternatives répétées ne suffisaient pas à produire un effet semblable.

M. Ewing a confirmé ce fait par une série d'expériences dont nous résumons ci-après les résultats d'après *The Electrician*, de Londres. Ces expériences ont été faites sur trois anneaux composés chacun de 20 disques de tôle de 0,345 mm. d'épaisseur. La section totale du fer était un peu inférieure à 1 cm², et l'anneau était enroulé de 111 spires de fil en une seule couche.

Tout d'abord, les propriétés magnétiques de ces anneaux ont été étudiées, en faisant passer ceux-ci par une série croissante et décroissante, de cycles d'aimantation. Les pertes par hystérésis, ou $\int \mathcal{H} d\mathcal{B}$, ont été déterminées par la mesure des aires des courbes $\mathcal{B}$—$\mathcal{H}$.

Puis, les enroulements des anneaux furent reliés au réseau de la Compagnie d'électricité de Cambridge, et laissés en circuit pendant onze jours consécutifs. L'induction dans les

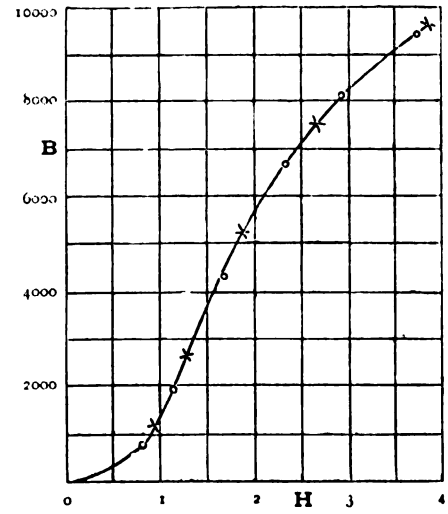


Fig. 1.

trois anneaux atteignait de 9 000 à 11 000 unités; la fréquence du courant était de

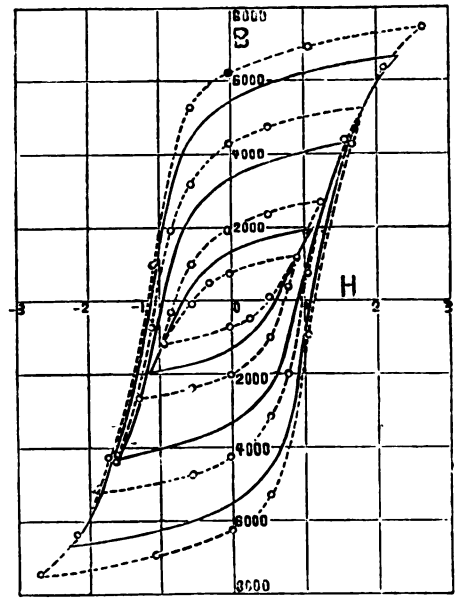


Fig. 2.

80 périodes par seconde. Après cette longue série d'aimantations alternatives, les anneaux furent soumis au même examen qu'avant leur mise en circuit.

Digitized by Google

Le résultat très net de ces essais est que l'on ne put constater la moindre altération des propriétés magnétiques du fer. Il suffira, pour le montrer d'indiquer ici les résultats fournis par un des trois anneaux.

La figure 1 donne la courbe de $\mathfrak{B}$ en fonction de $\mathcal{H}$, avec l'indication des points déterminés avant la série d'aimantations alternatives (cercles) et ceux obtenus après (croix).

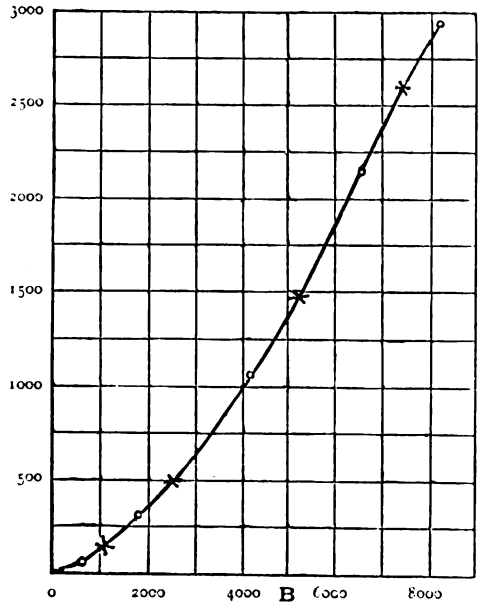


Fig. 3.

Comme on le voit, toutes ces valeurs font partie d'une même courbe.

Dans la figure 2 toute la série des cycles est représentée en trait plein pour les expériences antérieures, et en pointillé pour les expériences postérieures à l'action du champ alternatif. Tous ces cycles présentent la même forme et semblent faire partie d'une série continue.

Enfin, la courbe des pertes hystérétiques, en fonction de l'induction (fig. 3) accuse la même concordance des valeurs.

Il paraît donc bien établi que le fer ne semble pas éprouver de fatigue magnétique sous l'action répétée d'aimantations alternatives.

Les expériences de MM. Campbell et Lowell décrites ci-dessous viennent encore à l'appui de ce fait.

A. H.

Prétendue fatigue magnétique
par A. Campbell et R.-P. Lovel.

Au mois de décembre dernier, le professeur Ewing établit que la question de fatigue magnétique résultant de renversements d'aimantation souvent répétés devait être abandonnée. Dans son travail, publié par *The Electrician* du 11 janvier 1895, il prouva de la façon la plus concluante que ses échantillons de bon *fer forgé*, soumis à un très grand nombre de renversements de *petits* champs magnétiques, ne présentaient aucune modification appréciable de leurs qualités magnétiques.

Les auteurs de cette note ont alors entrepris, en même temps que d'autres expérimentateurs, une série de recherches sur le même sujet. Leurs expériences faites avec des *champs plus intenses* et sur de la *fonte*, aussi bien que sur des plaques de transformateurs, sont assez intéressantes pour que, sans entrer dans le détail des méthodes employées et des corrections appliquées, nous en donnions ici les résultats d'après notre confrère anglais.

Une première série d'essais a été faite sur un anneau en fer lamellé (que nous appellerons A), d'une section droite de 16,75 cm.^{2} environ. Il était roulé de deux couches de fil de cuivre de 1,6 mm. de diamètre faisant ensemble 355 spires, et la bobine magnétisante ainsi constituée pouvait porter les courants employés sans une élévation de température supérieure à quelques degrés. Elle était recouverte d'une bobine secondaire convenable, soigneusement isolée de la première par un ruban de soie. On en déduisit une courbe de $\mathfrak{B}$-$\mathcal{H}$, par la méthode balistique bien connue, avec des champs magnétiques portés jusqu'à 80 unités C. G. S. Le procédé suivi était d'ailleurs tout à fait analogue à celui employé par le professeur Ewing, chaque point étant déterminé indépendamment de ceux déjà trouvés.

Le 15 décembre 1894, l'anneau A fut alors, en série avec un autre, relié au secondaire d'un

Digitized by Google

transformateur à 50 volts, alimenté sous 100 volts par un transformateur plus grand branché sur un des conducteurs principaux de la London Electric Supply Corporation.

Dans ces conditions on maintint, du 15 décembre au 7 janvier suivant (sauf un léger arrêt pour une preuve intermédiaire), dans la bobine magnétisante un courant de 1,4 ampère environ sous une fréquence de 83 périodes par seconde. Les épreuves sur le cycle $\mathfrak{B}$ et $\mathfrak{H}$ faites à cette date furent renouvelées le 18 décembre, puis finalement le 7 janvier. Dans chacune d'elles on s'appliqua à maintenir aussi voisines que possible de celles du 15 décembre les valeurs successives de $\mathfrak{H}$. Les résultats en sont consignés dans le tableau suivant; les courbes correspondantes, relevées à la même échelle, coïncident pratiquement.

TABLEAU I. — ANNEAU A EN FER LAMELLÉ

15 DÉCEMBRE 1894		18 DÉCEMBRE 1894		7 JANVIER 1895	
$\mathfrak{H}$	$\mathfrak{B}$	$\mathfrak{H}$	$\mathfrak{B}$	$\mathfrak{H}$	$\mathfrak{B}$
78,8	16360	77,0	16340	79,5	16360
38,7	15580	38,6	15540	40,5	15580
27,9	15290	28,4	15240	28,1	15290
21,4	15010	20,1	14940	19,8	15000
15,0	14770	14,4	14830	14,3	14740
11,2	14570	10,9	14190	10,8	14580
4,0	13860	4,0	13790	4,0	13870
0,0	12160	0,0	12226	0,0	12340
— 4,0	— 6920	— 4,0	— 7020	— 4,0	— 7260
— 11,2	— 12560	— 10,7	— 12500	— 10,6	— 12620
— 14,9	— 13360	— 14,3	— 13420	— 11,0	— 13300
— 21,5	— 14080	»	»	— 19,6	— 14060
— 27,9	— 14600	»	»	— 27,7	— 14700
— 38,7	— 15280	— 38,1	— 15300	— 38,8	— 15260

Une série d'observations tout à fait analogue a été faite sur un anneau de fonte, et, bien que la matière présentât une hystérésis considérable, on voit, d'après la figure 1, que, après séjour de l'échantillon dans un champ magnétique alternatif (un peu plus intense que celui employé dans l'anneau A) du 18 décembre 1894 au 7 janvier 1895, la perte par hystérésis est restée absolument constante.

Indépendamment des épreuves auxquelles il a été soumis au point de vue des déterminations de $\mathfrak{B}$ et de $\mathfrak{H}$, l'anneau A a été également essayé comme transformateur avec son circuit secondaire ouvert avant et après fonctionnement dans le champ magnétique alternatif. Les tensions primaire et secondaire étaient

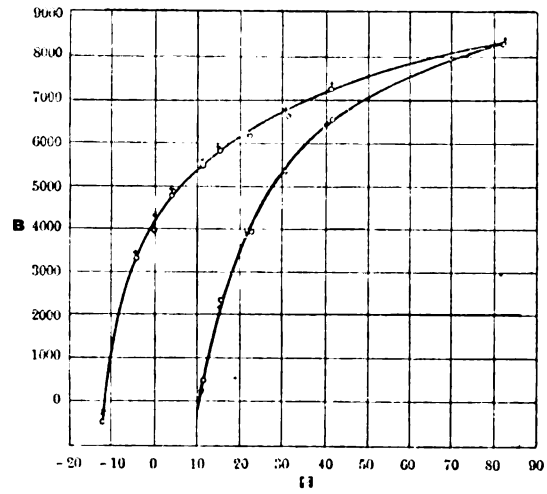


Fig. 1.
ooo, avant renversement; xxx, après renversement.

relevées sur le voltmètre-étalon multicellulaire de Faraday House, tandis que le courant

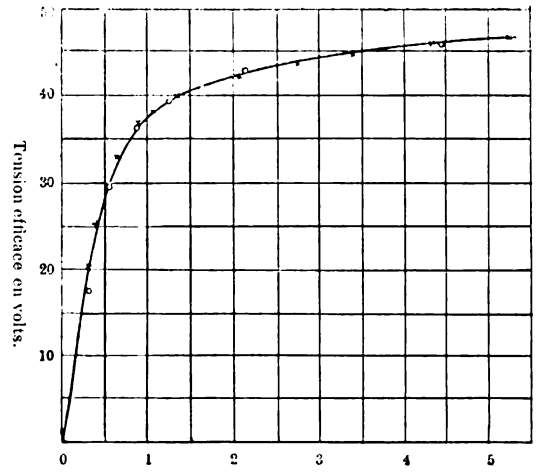


Fig. 2.
ooo, avant renversement; xxx, après renversement.

magnétisant était mesuré à l'aide d'une balance de Kelvin. La figure 2 indique la relation entre le courant magnétisant en ampères et la tension secondaire en volts (intensité et tension efficaces). Bien qu'il n'ait été fait aucun essai au wattmètre, la coïncidence des deux

Digitized by Google

séries de points sur la figure ne paraît laisser aucun doute sur l'allure de l'anneau comme transformateur; il se comportait exactement de même après qu'avant les renversements souvent répétés. Étant admis que le courant magnétisant était de forme sinusoïdale, les valeurs maxima qu'on en déduit pour $\mathfrak{B}$ au moyen des épreuves balistiques étaient de beaucoup inférieures à celles déduites de la tension secondaire. Il en résulte évidemment que cette dernière hypothèse n'est pas exacte et qu'il est impossible de calculer exactement la valeur d'un champ alternatif maximum.

E. B.

Application de l'électricité à la cuisine et aux chauffage par R.-E. Crompton (1).

Au cours des expériences faites en vue de déterminer les meilleures dispositions pour les appareils, on s'est trouvé en présence de grandes difficultés sur un point qui au premier abord paraît très simple; nous voulons parler de la mesure de la température atteinte. Le thermomètre ordinaire à mercure, si bien construit qu'il soit, ne convient pas à la mesure précise de la température de surfaces chaudes; il indique en réalité la température d'une couche d'air immédiatement voisine, mais non pas celle de la surface elle-même. Après avoir essayé la forme de pyromètre électrique de Siemens perfectionnée par Calender, M. Crompton en est arrivé à adopter exclusivement pour ses mesures son propre thermomètre au platine.

Ce thermomètre, qui donne les températures par l'augmentation de résistance électrique, due à l'élévation de température, d'une bobine sensible ou d'une spirale de platine mise en contact direct avec la surface chauffée, se construit et s'emploie de la manière suivante.

La spirale est formée d'une bande mince de platine, de 0,05 mm., seulement d'épaisseur sur 0,8 mm. de large; une longueur suffisante pour donner environ 5 ohms de résistance à la température de 0° C est enroulée en forme de double spirale sur une bande de mica de 12,5 mm, environ de large sur 10 cm. de long; elle est enfermée et maintenue entre deux feuilles semblables de mica fixées par leurs bords au moyen d'une couture de fil de platine très fin. L'épaisseur totale de la spirale et de sa couverture ne dépasse guère celle d'une feuille de papier, de sorte que l'ensemble de la spirale peut être maintenu à une distance de 0,25 mm., de la plaque dont on cherche la température. La bande de platine est montée en série avec une résistance étalon en manganin. La résistance de cet alliage ne subit aucune modification par suite des variations de température d'un appartement ordinaire ou d'un laboratoire. La spirale de platine ainsi que la résistance étalon sont munies toutes deux de connexions ou vis terminales qui permettent de coupler un nombre quelconque de spirales de platine en série avec l'étalon de manganin. On y fait passer le courant constant de très faible intensité d'un seul accumulateur. Chacune des spirales de platine, aussi bien que l'étalon de manganin, est munie d'une paire de bornes spéciales, et, au moment de l'étalonnage, elles sont soigneusement ajustées de telle sorte que la différence de potentiel mesurée sur un potentiomètre est absolument égale. Quand les spirales de platine sont plongées dans la glace fondante et que la résistance de manganin est à la température ordinaire de laboratoire, on les équilibre en ce point à 1000 sur l'échelle du potentiomètre. Les spirales de platine sont alors exposées à la température de l'eau bouillante dans un hypsomètre, et, si le platine employé est pur, la différence de potentiel des spirales de platine, comparée à celle de l'étalon sera alors dans le rapport de 1362 : 1000. Si donc on divise en 100 parties égales la portion de l'échelle du potentiomètre comprise entre 1000 et 1362, chacune de ces divisions correspondra à 1° C. Il est d'ailleurs évident qu'on pourra obtenir des lectures de température aussi étendues qu'on voudra en employant un nombre proportionnel de spirales de platine et les comparant individuellement à un étalon.

(1) Voir l'*Eclairage Electrique*, du 15 juin, p. 514.

Digitized by Google

Ce mode de thermométrie présente de nombreux avantages sur l'emploi de thermomètres ordinaires lorsqu'il s'agit par exemple de prendre des températures de fours ou parties intérieures de viandes ou autres aliments; le seul fait du retrait des thermomètres pour la lecture de leurs indications introduit en effet des erreurs considérables, tandis que la disposition précédemment décrite permet de relever simultanément des températures exactes en différents points du four ou d'autres appareils, et dans différentes parties d'une pièce de viande. Ce procédé a permis de constater un grand nombre de faits intéressants relatifs à la cuisson. Grâce à lui on a pu mesurer avec un haut degré de précision la quantité d'énergie électrique à mettre en œuvre pour diverses formes d'appareils de chauffage et de cuisson. Les quatre tableaux suivants donnent une idée du coût d'échauffement de surfaces dans des conditions déterminées. Le premier se réfère aux grillades, à la cuisson au four et à la friture; le second donne le prix d'échauffement de surfaces à une température moins élevée, telle que celle nécessaire au chauffage de l'air d'une pièce, à celui du linge, et autres applications analogues. Quant aux tableaux III et IV ils indiquent le prix de l'énergie requise pour faire bouillir de l'eau en petites quantités; ils sont intéressants en ce qu'ils montrent que, même en employant l'électricité dans les conditions les moins favorables comparativement au combustible solide, c'est-à-dire pour l'ébullition de l'eau, on peut, avec une bouilloire électrique ordinaire, appliquer le courant et avoir une tasse de thé à moins de 0,0125 francs pour une tasse seule, et à moitié prix par tasse si l'on en prépare plusieurs.

	TEMPS.	ÉNERGIE.	PRIX à 0,42 f. le kw-h.	TEMPÉRATURE.
	Min.	W-h.	Fr.	Deg. C.
TABLEAU I.				
	»	»	»	10
Donnant l'énergie nécessaire	10	116	0,1932	125
pour porter de 10 à 205°C	14	164	0,2812	166,6
en une demi-heure une pla-	21	248	0,42	169,4
que métallique.	30	404	0,6762	205
TABLEAU II.				
	»	»	»	10
Donnant l'énergie nécessaire	10	91	0,1529	77,8
pour une plaque rayonnante	30	277	0,462	115,5
employée à l'échauffement	40	350	0,588	125
de l'atmosphère d'une cham-	50	430	0,7224	127,8
bre.	60	500	0,84	130
TABLEAU III.				
Donnant l'énergie nécessaire pour amener à l'ébullition	»	»	»	10
0,4536 kg. d'eau dans une	18	75	0,1344	100
bouilloire à thé, de table.				
TABLEAU IV.				
Donnant l'énergie nécessaire pour faire bouillir 0,340 kg	»	»	»	10
d'eau suffisant pour deux	12	51	0,084	100
tasses de thé.				

Bien que ces tableaux indiquent la quantité et le prix de l'énergie électrique nécessaire pour porter différents genres de surfaces d'échauffement à une certaine température, il manque encore quelque chose pour se former une opinion sur la valeur du chauffage et de la cuisine par l'électricité, au point de vue économique.

Quand cette question se présente pour la première fois à l'esprit d'un ingénieur, même des plus hardis, son premier sentiment est que, dans la majorité des cas, le chauffage électrique doit être trop coûteux pour se répandre d'une manière générale. Il connaît la mauvaise utilisation de l'énergie calorifique sous forme de vapeur et sait qu'il n'est guère possible de distribuer au consommateur, sous forme d'énergie électrique, plus de 6 p. 100 de celle que contient le charbon, et il n'y a pas lieu de s'étonner s'il en conclut l'impossibilité d'employer cette chaleur après une nouvelle conversion, concurremment avec celle que le consommateur peut obtenir directement en brûlant lui-même le combustible. Mais le fait est que toutes ces manières de voir sont basées sur la connaissance imparfaite de l'économie, ou plutôt des conditions extraordinairement peu économiques, de la cuisine actuelle avec les appareils ordinaires. Maintenant qu'on peut réellement mesurer la chaleur nécessaire aux opérations culinaires, on est surpris des faibles résultats obtenus avec les méthodes en

Digitized by Google

usage. La proportion des calories contenues dans le charbon brûlé dans nos cuisines et réellement utilisée à la cuisson des aliments dans les maisons particulières et dans presque tous les hôtels et clubs est si ridiculement faible qu'on croira difficilement aux chiffres fournis par des mesures précises. Il n'y a pas d'exagération à dire que, dans bien des cas, on n'en utilise pas plus de 2 p. 100. Cette énorme déperdition est due à ce que, à la seule exception près de l'ébullition et de l'étuvage, toutes les autres opérations culinaires dépendent de la radiation de la chaleur sur les aliments à cuire. Prenons, par exemple, le mode de grillage d'une côtelette. Combien faut-il brûler de combustible avant d'en avoir une couche incandescente et d'obtenir le feu clair nécessaire à la cuisson? 70 p. 100 de la chaleur fournie s'échappent par la cheminée; 16 p. 100 en sont rayonnés dans la pièce ou employés à rôtir le cuisinier ou la cuisinière, suivant les cas; et il est aisé de comprendre que la côtelette elle-même ne reçoit pas plus de 2 p. 100 de la totalité des calories contenues dans le combustible. D'autre part, avec un gril convenablement adapté à l'emploi de l'électricité, 65 p. 100 de la chaleur représentée par l'énergie électrique sont largement utilisés dans la viande. Prenons encore le cas du four ordinaire faisant partie du fourneau de cuisine d'une maison particulière. Le four peut être employé pendant une moyenne de trois heures par jour; mais, s'il est alimenté au moyen de combustible solide, il doit être chauffé sans discontinuité depuis le moment où on allume le fourneau le matin jusqu'à une heure assez avancée de la soirée, de sorte que, dans ce cas, la chaleur totale rayonnée utilement par les parois du four pour cuire, rôtir, braiser les aliments qui y sont introduits, n'atteint généralement qu'une proportion tout à fait insignifiante du calorique contenu dans le charbon employé.

La comparaison avec la cuisine au gaz, tout en étant moins frappante que la précédente, est encore très favorable à l'électricité. Si, en effet, dans le cas du four au gaz, on réalise une économie considérable en ne consommant ce combustible que pendant le temps nécessaire à la cuisson, la chaleur n'est cependant encore communiquée aux aliments que par les radiations des flammes de gaz, de sorte qu'un courant d'air doit nécessairement passer sans cesse à travers le four pour le ventiler et entraîner les produits de la combustion. Or cette ventilation emporte ainsi avec elle 80 p. 100 au moins des calories fournies par la combustion du gaz.

Le four électrique consiste en une caisse rectangulaire à doubles parois sur toutes faces; les surfaces internes des plaques intérieures sont les radiateurs électriques, et l'espace compris entre elles et les parois extérieures est rempli de matières non conductrices de la chaleur; la fermeture de la porte en est pratiquement hermétique, aucune ventilation n'étant nécessaire, de sorte que toute déperdition de chaleur, se trouve par là-même évitée. Dans ce cas, lorsque le four est rempli d'aliments, on peut utiliser plus de 90 p. 100 de l'énergie calorifique, et, si l'énergie électrique mise en œuvre ne représente pas plus de 5 à 6 p. 100 seulement des calories contenues dans le combustible initial, 90 p. 100 de cette énergie ou 4 1/2 p. 100 de l'énergie totale, passent effectivement dans les aliments. Le four électrique est ainsi, pratiquement, deux fois aussi économique qu'un autre four quelconque alimenté au charbon solide ou au gaz.

Nous ne nous sommes attachés jusqu'ici, et avec certains développements, qu'à la question économique; il est temps de dire quelques mots de la commodité et des résultats meilleurs que peuvent présenter les moyens de chauffage électriques. Nous avons déjà parlé de la perte considérable par rayonnement résultant de l'emploi du combustible solide et, bien que sur une moindre échelle, de celui du gaz; cette condition a le grand inconvénient de nuire à la qualité des aliments ainsi préparés et de faire vivre les domestiques dans un milieu aussi chaud que peu respirable. Une cuisine électrique peut être, si l'on veut, main-

Digitized by Google

tenue aussi fraîche qu'une laiterie, et il faut expérimenter les résultats de cette température peu élevée sur la qualité des produits et sur la santé et le caractère de la domesticité pour pouvoir en apprécier les effets à leur juste valeur. Nous avons également mentionné dans le cas du four à gaz, la nécessité du courant d'air de ventilation passant sur les surfaces qu'il refroidit. Ces courants d'air dessèchent et durcissent, en leur enlevant toute saveur, les parties extérieures des viandes; les amateurs peuvent s'en apercevoir pour des fruits cuits au four à gaz. Avec la cuisine électrique, l'absence de cette ventilation et l'immobilité de l'air font disparaître ces inconvénients; la viande reste tendre et juteuse jusqu'à sa surface extérieure; elle est juste assez brunie pour satisfaire les yeux et le palais. En outre la facilité de modération de température que permettent avec une extrême délicatesse les fourneaux ou les fours électriques est hautement appréciée dans les sphères plus élevées de l'art culinaire. La plupart des cuisiniers habiles savent combien il faut de temps pour apprendre à conduire un four ordinaire de manière à bien amener au point la pâtisserie et les sucreries et obtenir toujours des résultats uniformes. Lorsqu'ils emploient pour la première fois des appareils électriques, ils disent presque invariablement qu'un enfant apprendrait en quelques heures le maniement de ce four et en obtiendrait d'aussi bons résultats avec autant de certitude qu'ils le feraient eux-mêmes avec un four ordinaire après une expérience de plusieurs années.

Tous les consommateurs d'éclairage électrique ont intérêt à voir se développer le chauffage et la cuisine électriques. Ils savent que l'utilisation pendant la journée des sources d'énergie électrique contribuera dans une large mesure à la réduction des prix de consommation. Il viendra certainement un jour où, indépendamment de la lumière, de la puissance motrice, du chauffage et de la cuisine, l'énergie électrique trouvera chez les consommateurs une foule d'emplois non encore soupçonnés, tels que la soudure, la brasure, la fonte de certaines matières, le séchage, et autres multiples applications industrielles dans lesquelles la chaleur empruntée au courant électrique peut être avantagement utilisée. Il est même à signaler dès maintenant que les directeurs de plusieurs théâtres, du moins en Angleterre, ont trouvé dans les radiateurs électriques un moyen des plus commodes, sûrs et économiques de chauffer leurs auditeurs. Pendant l'hiver rigoureux qu'on vient de traverser, on a trouvé très commode l'emploi de ces radiateurs pour adoucir la température et éviter sur les devantures des magasins la congélation et l'humidité qui obscurcit la vue des objets exposés.

E. B.

Méthode graphique pour la détermination de la résistance réduite de circuits en dérivation, par W. E. Wines.

L'auteur publie dans *The Electrical Engineer*, de New-York, la méthode simple ci-dessous qui permet d'obtenir graphiquement la résistance réduite d'un nombre quelconque de circuits couplés en dérivation.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse de trouver la résistance d'un circuit composé de deux branches dont les résistances R_1 et R_2 sont connues. Si, sur une ligne AB de longueur convenable, on élève en A une perpendiculaire AC représentant R_1 à une échelle quelconque, et en B une autre perpendiculaire représentant, à la même échelle, la résistance R_2, il suffira de joindre respectivement A et D, B et C, et, du point d'intersection E de ces deux droites, d'abaisser la perpendiculaire EF sur AB; cette dernière ligne donnera la résistance réduite cherchée, comme il est facile de le démontrer par la similitude des triangles ainsi obtenus.

Si l'on pose en effet $EF = x$, on a

$$\frac{x}{R_1} = \frac{FB}{AF + FB}; \qquad \frac{x}{R_2} = \frac{AF}{AF + FB};$$

d'où

$$\frac{x}{R_1} + \frac{x}{R_2} = \frac{AF + FB}{AF + FB} = 1,$$

et

$$x = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2},$$

Digitized by Google

qui est bien l'expression connue de la résistance réduite dans ce cas.

Pour étendre la méthode au cas de trois circuits dérivés, il suffit de prendre sur AC, toujours à la même échelle, AG égal à R_3 et de joindre les points G et F; la perpendiculaire HK abaissée du point d'intersection H avec AD donnera la résistance cherchée. On peut répéter la même construction pour un nombre quelconque de dérivations. On voit de suite que, si elle comporte le tracé de six lignes pour deux résistances seulement, chaque résistance additionnelle en parallèle exige

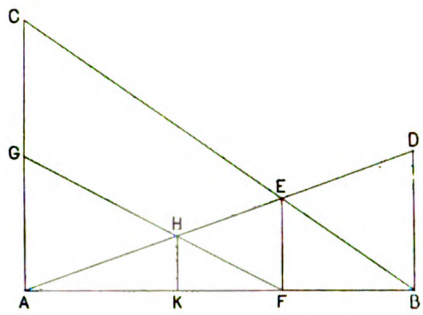


Fig. 1.

seulement deux lignes de plus, tandis que la solution arithmétique du problème devient de plus en plus compliquée au fur et à mesure que le nombre des circuits dérivés augmente.

Si l'on donne la résistance réduite et celle de l'un des circuits, une légère modification du même diagramme permet de trouver immédiatement la résistance de l'autre circuit.

E. B.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Société de physique.

Séance du 7 juin 1895.

M. R. Arnoux présente à la Société les nouveaux voltmètres et ampèremètres apériodiques qu'il a étudiés en collaboration avec M. R. Chauvin pour la mesure des courants continus.

Ces appareils, destinés aux laboratoires industriels, sont basés sur l'emploi d'un cadre galvanométrique mobile dans un champ ma-

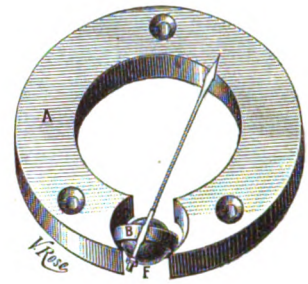


Fig. 1.

gnétique produit par un aimant permanent (fig. 1). On peut ainsi réaliser des galvanomètres dont la permanence de l'étalonnage peut être considérée comme pratiquement absolue et qui permettent d'effectuer, avec rapidité grâce à l'emploi d'un amortisseur électromagnétique, des mesures de différences de potentiel et d'intensité de courant variant dans le rapport de 1 à 3 000.

M. R. Arnoux fait observer que ce qui ca-

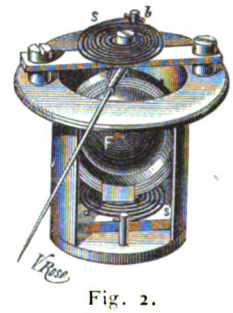


Fig. 2.

ractérise les modèles qu'il présente c'est la simplicité des moyens employés pour les réaliser. Le cadre mobile (fig. 2) est constitué par une petite couronne de fil de cuivre isolé à la soie sertie entre deux bagues concentriques de cuivre pur découpées dans du tube fabriqué par le procédé électrolytique Elmore. Ces deux bagues, en même temps qu'elles donnent au cadre galvanométrique une grande rigidité,

Digitized by Google

constituent un amortisseur électromagnétique très efficace.

Ainsi constitué le cadre mobile a l'aspect et les dimensions d'une alliance ordinaire. Il est muni suivant un de ses diamètres de deux petits pivots en acier pénétrant dans deux crapaudines en pierre fine. Deux ressorts spiraux en métal non magnétique amènent le courant au cadre mobile et servent en même temps à développer le couple antagoniste qui doit faire équilibre au couple électromagnétique qu'exerce le champ magnétique sur le cadre. Ces deux ressorts spiraux sont bandés l'un contre l'autre afin d'assurer au repos la fixité de l'aiguille par rapport au zéro de l'échelle. Cette aiguille est en aluminium afin de réduire autant qu'il est possible le moment d'inertie de la partie mobile.

Tout cet équipage, équilibré de façon à permettre les lectures dans toutes les positions, est renfermé dans un tube à embase dans lequel est fixée et centrée à l'intérieur du cadre mobile une de ces sphères d'acier que l'industrie fabrique couramment aujourd'hui pour les coussinets à billes. Cette sphère d'acier est destinée à fermer le circuit magnétique d'un aimant dont le flux de force utilisable est ainsi porté au maximum possible. L'aimant est constitué *par une seule pièce d'acier magnétique en forme de tore* (fig. 1) *et sans pièces polaires rapportées*, l'évidement cylindrique destiné à recevoir l'équipage mobile étant ménagé dans la masse même de l'aimant. D'après M. R. Arnoux, ce mode de construction de l'aimant, qui peut d'ailleurs être réalisé économiquement, est nécessaire pour obtenir avec un acier donné un champ magnétique bien *permanent* et *intense*.

VOLTMÈTRES. — Le cadre des voltmètres (fig. 3) a une résistance qui est en moyenne de 75 ohms; une intensité moyenne de 0,05 ampères suffit pour dévier l'aiguille de la totalité de l'échelle, de sorte que pour réaliser un voltmètre gradué en 150 divisions par exemple et permettant de mesurer une différence de potentiel maxima de 150 volts, il faut ajouter *en série* avec le cadre mobile une résistance de (150 : 0,05) — 75 = 29 925 ohms; cette résistance est constituée par du fil à très faible coefficient de température, comme celui employé dans les caisses de résistances, ce qui rend les indications de l'appareil pratiquement indépendantes de la température. D'une façon générale, la valeur maxima de la résistance correspondant à chaque sensibilité du voltmètre est proportionnelle à la valeur maxima de la différence de potentiel que l'échelle de l'appareil permet de lire. Le très faible courant nécessité par le cadre mobile permet de loger

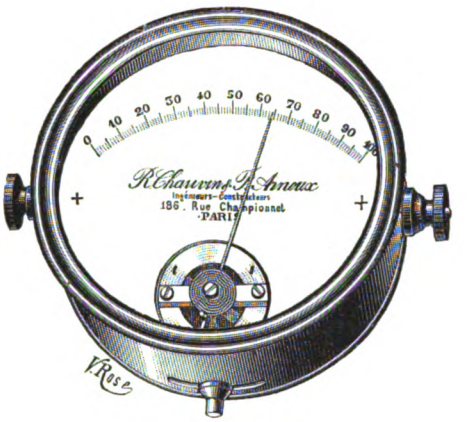


Fig. 3. — Voltmètre.

facilement dans le boîtier même du voltmètre les différentes résistances correspondant aux différentes sensibilités. M. R. Arnoux présente un voltmètre permettant d'effectuer toutes les mesures comprises entre 3 et 600 volts avec 5 sensibilités différentes et dont les dimensions du boîtier sont 15 cm. de diamètre et 5 cm. d'épaisseur. L'appareil est en outre muni d'une clé d'inversion formant interrupteur et qui permet de déterminer sans ambiguïté, par le sens même de sa manœuvre, les pôles d'une canalisation ou d'un générateur électrique.

AMPÈREMÈTRES. — Le cadre mobile des ampèremètres (fig. 4) a une résistance 100 fois plus faible que celui des voltmètres. Comme il ne peut supporter des courants supérieurs à 0,05 ampère, la mesure de courants plus in-

Digitized by Google

tenses nécessite l'emploi de shunts réducteurs qui peuvent être rapidement reliés à l'ampèremètre à l'aide de deux petits cordons souples terminés par des fiches coniques analogues à celles employées dans les boîtes de résistances. On a reconnu par expérience que les contacts obtenus à l'aide de ces fiches ne varient pas de plus de 1 p. 100 de leur valeur propre, c'est-à-dire de 1/10000 de la résistance du circuit de l'appareil.

Les feuilles d'argentan des shunts établis dans ces conditions ont une longueur constante de 10 cm. avec une longueur proportionnelle au courant maximum à mesurer. Tous les shunts portent une plaque sur laquelle est poinçonné le courant maximum exprimé en ampères qu'on peut mesurer et leur résistance propre exprimée en microhms. Leur étalonnage est effectué à l'aide d'un pont double de Thomson et d'un potentiomètre que M. Arnoux présente également à la Société. On règle, à l'aide du pont double de Thomson, la résistance de chaque shunt de façon qu'elle soit toujours égale au quotient de 0,04 volt par le courant maximum poinçonné sur la plaque du shunt et, à l'aide du potentiomètre, la résistance du circuit de chaque ampèremètre, de façon que lorsqu'une différence de potentiel de 0,04 volt existe aux deux extrémités de ce circuit, l'aiguille de l'appareil est au maximum de déviation sur son échelle. Ce mode d'étalonnage permet d'effectuer des mesures exactes à l'aide d'un shunt quelconque relié à un ampèremètre quelconque ; toutefois, il est préférable, afin d'éviter tout calcul, de choisir des shunts dont la capacité maxima poinçonnée sur la plaque soit un multiple ou un sous-multiple simple du chiffre maximum de la graduation de l'appareil. Cet emploi de shunts étalonnés permet, comme dans le cas des voltmètres, de mesurer avec la même précision et un seul galvanomètre des intensités de courant comprises entre 1 et 3 000 ampères.

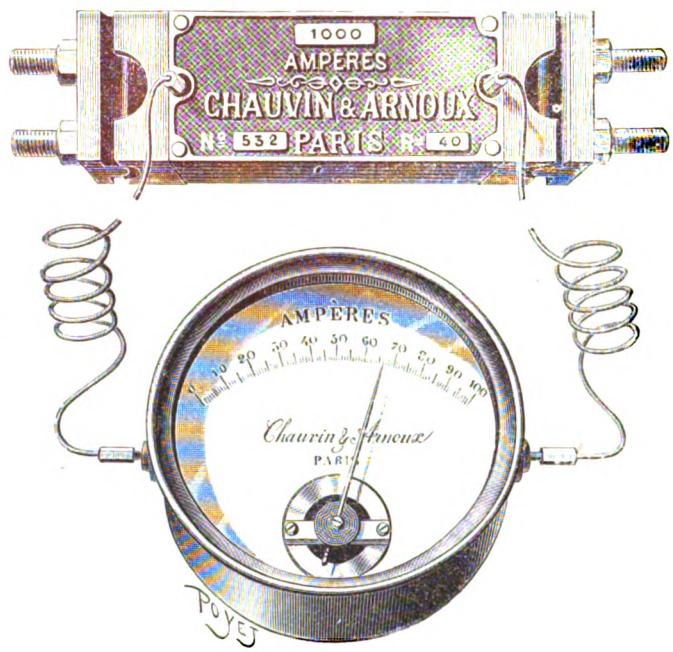


Fig. 4. — Ampèremètre relié à un shunt.

Capacité des condensateurs électrolytiques,
par Samuel Sheldon,
H.-W. Leitch et A.-N. Shaw (1).

Deux méthodes ont été employées pour la mesure de la capacité.

Dans l'une on commence par faire agir pendant un certain temps une force électromotrice, mesurée par un voltmètre, sur un circuit contenant l'électrolyte et une résistance non inductive égale à la résistance du galvanomètre balistique utilisée dans la seconde partie de la mesure. Au moyen d'un commutateur on renverse la polarité de la force électromotrice en même temps qu'on substitue le galvanomètre balistique à la résistance non inductive. L'élongation de l'aiguille fait con-

(1) *Physical Review*, t. II, p. 401-412, mai-juin 1895.

Digitized by Google

naître la quantité d'électricité abandonnée par les électrodes en se dépolarisant, augmentée de celle qui est nécessaire pour les polariser en sens inverse. Ces deux quantités étant égales entre elles, il suffit donc de diviser la quantité d'électricité correspondant à l'impulsion observée par 2 et par la différence de potentiel des électrodes pour obtenir la capacité cherchée.

La seconde méthode consiste à placer le vase électrolytique en verre avec le galvanomètre et à noter les élongations de l'aiguille de cet instrument quand on fait passer peu à peu et par sauts brusques le voltage de o à un maximum, puis de ce maximum à o, ensuite de o à un maximum négatif, et enfin de ce dernier à o. La somme des élongations fait connaître le double de la quantité d'électricité nécessaire à la polarisation des électrodes.

Dans l'une et l'autre de ces méthodes on mesure donc la quantité d'électricité nécessaire au renversement de la polarité des électrodes. Cette précaution est utile. Les auteurs ont en effet constaté que, contrairement à l'opinion courante, l'élément platine-eau acidulée-platine, n'est pas complètement dépolarisé après plusieurs heures de mise en court circuit. Par conséquent, si l'on se contentait de fermer sur le galvanomètre balistique un élément préalablement polarisé, on n'aurait pas la quantité d'électricité correspondant à une dépolarisation complète, tandis que les méthodes précédentes donnent exactement le double de cette quantité.

La mesure des différences de potentiel s'effectuait au moyen d'un voltmètre Weston. Un galvanomètre d'Arsonval servait de balistique ; il était étalonné à l'aide d'un élément Clark et d'un condensateur étalon de 1 microfarad.

Quant aux condensateurs électrolytiques, ils étaient de deux types. Les uns étaient formés par deux fils de platine soudés dans des tubes capillaires et plongés dans une solution aqueuse à 1/20 d'acide sulfurique. Les extrémités des fils étaient polies et aplanies avec soin; les tubes capillaires étaient recourbés à angle droit à leur partie inférieure, de manière à ce que ces extrémités soient en regard et que le courant ait une densité uniforme; un thermomètre placé entre ces électrodes faisait connaître la température de l'électrolyte. Quatre condensateurs de ce type étaient construits avec un fil de 0,0814 cm. de diamètre; quatre autres avec un fil de 0,041 cm.

Les condensateurs du second type étaient formés d'un tube de verre de 0,32 cm. de diamètre interne auquel on avait donné une forme sinueuse; les parties inférieures des sinuosités contenaient du mercure, les parties supérieures de l'eau acidulée. Chaque tube constituait donc plusieurs condensateurs en série.

Il est assez difficile de construire les condensateurs du second type sans introduire quelques bulles d'air dans le tube. Aussi n'est-il pas inutile d'indiquer le procédé auquel se sont arrêtés les auteurs.

Le tube sinueux est fixé par une de ses extrémités dans un bouchon de caoutchouc fermant une éprouvette contenant du mercure et de l'eau acidulée. Un tube droit traversant ce bouchon est relié à une pompe de compression. On fait plonger l'extrémité inférieure du tube sinueux alternativement dans le mercure et dans l'eau acidulée, et l'on fait fonctionner la pompe de manière à faire monter dans le tube un volume déterminé de l'un et de l'autre liquide.

La capacité d'un condensateur varie avec la force électromotrice de polarisation p, et l'on sait qu'elle n'a de valeur définie que dans le cas où p est très petit, valeur que M. Blondlot a appelée capacité initiale. Quand p atteint la valeur maxima au-dessus de laquelle le courant traverse l'électrolyte, la capacité du condensateur électrolytique devient infinie, puisque la quantité d'électricité Q nécessaire à la charge croît au delà de toute limite avec le temps.

Les auteurs ont cherché la relation entre la capacité et la force électromotrice de polari-

Digitized by Google

sation. En portant les valeurs de cette dernière quantité en abscisses et celles de la première en ordonnées, ils ont obtenu une courbe dont la convexité est tournée du côté de l'axe des abscisses. Ils attribuent la courbure de cette ligne à ce que M. Bouty appelle la force de dépolarisation, laquelle croît en même temps que p (1).

Lorsque les deux électrodes soumises à la polarisation ont des surfaces différentes, S_1 et S_2, la capacité initiale C est donnée par l'expression

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{K}\left(\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2}\right).$$

K étant une constante qui dépend de la nature des électrodes, de celle de l'électrolyte et de la température. Les valeurs de K trouvées par divers expérimentateurs dans des conditions paraissant semblables sont cependant très différents les unes des autres. Ainsi, pour le platine plongé dans l'acide sulfurique dilué, M. Colley a trouvé pour K des valeurs comprises entre 284 et 314 microfarads, tandis que M. Blondlot a obtenu 31 microfarads. Les auteurs n'ont pas trouvé des résultats plus concordants.

Avec quatre condensateurs du premier type construits avec les mêmes matériaux, ils ont trouvé pour la valeur de K à 20° C., 174, 180, 464 et 656 microfarads suivant le condensateur employé. Avec 2 feuilles de platine de 7 cm. sur 0,5 cm. collées sur des lames d'ébonite de manière à n'être en contact avec l'électrolyte que d'un seul côté, ils ont obtenu K = 43,2 à 20° C. Deux électrodes en fil de platine de 0,0107 cm. de diamètre, ils ont trouvé K = 42,6 à 21°,7.

Les condensateurs électrolytiques du second type se prêtent moins facilement à la détermination de K, les surfaces de contact du mercure et de l'eau acidulée ne pouvant être mesurées avec exactitude. En adoptant 0,15 cm² pour l'aire de chacun des contacts, les auteurs arrivent à K = 675.

(1) Bouty. *Journal de physique*, 3e série, t. III, p. 498, novembre 1894.

L'étude de l'influence de la température sur la capacité de polarisation du platine plongé dans l'eau acidulée, a donné les résultats suivants :

	C =	1,60	1,80	1,93	2,14	2,38
pour	T =	17°,66	24°,36	28°,16	33°,26	39°,96.

Ces résultats conduisent à la formule

$$C = C_{18}\,[1 + (t - 18)\,0.215].$$

Le coefficient de variation de la capacité d'une électrode de mercure en contact avec l'eau acidulée, déterminé avec les condensateurs électrolytiques du second type est plus grand que le précédent; il atteint 0,04 environ dans le voisinage de 18°.

L'influence de la concentration a aussi été étudiée. Cette étude a montré que cette influence est très faible. Ainsi, quand le rapport du volume de la solution à celui de l'acide qu'elle contient passe de 3 à 19°, la capacité varie seulement de 0,376 à 0,491.

Les auteurs ont ensuite cherché si, lorsqu'on associe de différentes façons des condensateurs électrolytiques, ceux-ci se comportent comme des condensateurs ordinaires. Ils ont constaté que quand plusieurs condensateurs électrolytiques sont associés en quantité, la capacité totale est, comme dans le cas ordinaire, égale à la somme des capacités individuelles.

En les réunissant en série, on devait dès lors avoir pour la capacité C de l'ensemble,

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots$$

Mais comme on a vu que la capacité d'un condensateur électrolytique dépend du voltage entre ses électrodes, la vérification de cette formule présente quelque difficulté. Pour la tourner, les auteurs ont d'abord déterminé expérimentalement la quantité d'électricité nécessaire pour polariser un élément à un voltage donné et ont construit la courbe reliant ces deux quantités : voltage et quan-

Digitized by Google

tité d'électricité. Faisant de même pour un second élément, ils ont pu, des deux courbes obtenues et par l'application de la formule précédente, calculer la quantité d'électricité nécessaire pour polariser à un voltage donné l'ensemble des deux éléments disposés en série. Ils ont constaté que les résultats de ce calcul concordaient avec ceux qu'ils obtenaient en expérimentant sur les deux éléments en série.

Enfin, dans la dernière partie de leur Mémoire, les auteurs indiquent les résultats qu'ils ont obtenus en opérant par la seconde méthode décrite en commençant. Si l'on porte en abscisses les différences de potentiel que l'on établit entre les électrodes et en ordonnées les quantités d'électricité qu'il faut fournir à l'élément ou que celui-ci abandonne quand on passe d'une valeur à une autre de la différence de potentiel, on obtient des courbes tout à fait semblables aux courbes d'hystérésis.

Ces courbes permettent de déterminer la quantité d'énergie fournie à l'élément électrolytique pour faire passer la différence de potentiel à une valeur donnée, ainsi que la quantité d'énergie résultant de la décharge de l'élément. On constate que le rapport de cette dernière quantité à la première, c'est-à-dire le rendement du condensateur électrolytique, est toujours très petit.

Pour cette raison et aussi à cause de la variation considérable qu'éprouve la capacité quand la température change, les auteurs ne pensent pas que les condensateurs électrolytiques puissent être utilisés en pratique.

J. B.

Sur le mouvement séculaire d'une aiguille magnétique libre, par L.-A. Bauer (1).

Sous ce titre, l'auteur publie la première partie d'un Mémoire dont un extrait a été communiqué au dernier meeting de l'Association américaine pour l'avancement des Sciences (1) et dont une analyse a été donnée récemment dans cette revue (2).

Nouvelle méthode pour la détermination des propriétés magnétiques du fer, par W. S. Franklin (3)

Pour déterminer la relation entre l'induction magnétique $\mathfrak{B}$ et l'intensité $\mathfrak{H}$ du champ magnétisant, on prend une barre du fer à étudier et on la courbe en forme de U et l'on attache cette barre, la partie ouverte dirigée vers le bas, à l'un des plateaux d'une balance. Dans l'autre plateau on met une tare pour équilibrer la barre de fer, puis un poids de F dynes. Autour des branches verticales on dispose deux bobines connectées comme dans un électro-aimant en fer à cheval et on lance dans ces bobines un courant dont on fait varier l'intensité jusqu'à ce que la balance soit en équilibre sous l'action de la force F et des forces qu'exercent les bobines sur les noyaux.

Soient i l'intensité du courant au moment de l'équilibre, n le nombre des tours du fil de chaque bobine par centimètre de longueur ; on a pour le champ magnétique :

$$\mathfrak{H} = 4\pi n i. \qquad (1)$$

D'autre part, si m est la masse magnétique des deux pôles formés aux extrémités de la barre, la force qui agit sur chacun d'eux est $m\mathfrak{H}$, et comme par suite de la façon dont les bobines sont connectées, les deux pôles sont soumis à des forces de même sens, la force totale s'exerçant sur la barre est $2m\mathfrak{H}$. Par conséquent, au moment de l'équilibre de la barre, on a

$$F = 2m\mathfrak{H}.$$

Mais on sait que

$$\mathfrak{B} = \frac{4\pi m}{q} + \mathfrak{H}.$$

---

(1) *Physical Review*, t. II, p. 455-466 ; mai-juin 1895.

(1) Le meeting de Brooklyn de l' « American Association for the Advancement of science ». L'*Eclairage Electrique*, t. I, p. 274.

(2) Variation séculaire du magnétisme terrestre, l'*Eclairage Electrique*, t. III, p. 420.

(3) *Physical Review*, t. II, p. 466-469 mai-juin 1895.

Digitized by Google

q étant la section de la barre; par suite, on peut écrire

$$\mathfrak{B} = \frac{2\pi F}{q\mathcal{H}} + \mathcal{H}. \qquad (2)$$

Les équations (1) et (2) permettent donc de calculer le champ et l'induction magnétiques si l'on connaît i, F et n. MM. Lee Campbell et E.-C. Dickinson ont appliqué cette méthode. Dans ces expériences, on avait $n = 16{,}3$; le tableau I indique les valeurs de i correspondant à diverses valeurs de EF ainsi que les valeurs calculées de $\mathcal{H}$ et de $\mathfrak{B}$.

TABLEAU I. — DÉTERMINATION DE $\mathfrak{B}$ ET $\mathcal{H}$

PREMIER CYCLE				SECOND CYCLE				TROISIÈME CYCLE			
F	i	$\mathcal{H}$	$\mathfrak{B}$	F	i	$\mathcal{H}$	$\mathfrak{B}$	F	i	$\mathcal{H}$	$\mathfrak{B}$
1177	+ 0,224	45,8	19330	1226	+ 0,229	46,8	19680	1226	+ 0,229	47,0	19620
785	0,152	31,2	18939	785	0,150	30,8	19140	783	0,156	32,0	18400
490	0,094	19,3	19141	487	0,097	19,9	18392	490	0,100	20,4	18030
194	0,041	8,4	17270	196	0,042	8,5	17280	189	0,042	8,5	16640
147	— 0,047	9,7	11430	167	— 0,049	10,2	12330	168	— 0,049	10,0	12630
444	0,097	19,9	16760	542	0,113	23,2	17540	510	0,108	22,1	17340
833	0,166	34,0	18460	788	0,158	32,5	18220	784	0,159	32,1	18060
1226	0,232	47,5	19425	1228	0,235	48,2	14070	1253	0,236	48,4	19460
784	0,152	31,1	18990	772	0,150	30,8	18820	785	0,150	30,6	19230
392	0,079	16,2	18180	372	0,097	19,8	14070	490	0,096	19,6	18750
196	0,042	8,6	17160	189	0,042	8,7	16370	196	0,044	8,9	16490
169	+ 0,049	10,1	12603	154	+ 0,048	9,8	11790	167	+ 0,049	9,9	12450
539	0,112	23,0	17630	488	0,102	21,1	17420	540	0,112	23,0	17630
838	0,164	33,5	18800	783	0,158	32,3	18210	787	0,161	33,0	17900
1226	0,231	47,3	19480	1226	0,205	48,2	19150	1246	0,235	48,1	19490

Pour déterminer la perte par hystérésis, on prend une barre droite que l'on suspend verticalement à l'un des plateaux d'une balance. Autour de cette barre on dispose une bobine de moyenne longueur et pouvant être déplacée suivant la direction de son axe. On la fait mouvoir le long de la barre un certain nombre de fois, en renversant le sens du courant qui la traverse toutes les fois qu'elle atteint l'extrémité supérieure ou l'extrémité inférieure de la barre, jusqu'à ce que les variations de l'aimantation de celle-ci deviennent cycliques. On détermine alors le poids qui fait équilibre à la barre quand la bobine est mue vers le bas. On prend la différence F de ces poids et l'on a pour la perte d'énergie par centimètre cube de fer pour le cycle considéré

$$W = \frac{F}{q}, \qquad (3)$$

q désignant, comme précédemment, la section de la barre. Le champ magnétique correspondant est déterminé par l'équation (1), l'intensité i du courant étant mesurée à chaque expérience.

Il s'agit d'établir l'équation (3). Pour cela, considérons une barre très longue, de section q, aimantée par un champ $+ \mathcal{H}$ dont l'intensité décroît jusqu'à zéro, puis, supposons qu'on fasse mouvoir lentement le long de cette barre, une bobine à l'intérieur de laquelle le champ est $- \mathcal{H}$. La partie de la barre située en avant de la bobine reste dans les conditions magnétiques où l'a laissée le champ $+ \mathcal{H}$; celle qui est située à l'intérieur de la bobine se trouve amenée graduellement sous l'influence du champ $- \mathcal{H}$; enfin pour la partie de la barre située au delà de la bobine, le champ prend graduellement la valeur zéro. Le fer subit donc les changements correspondant à la portion gauche d'un cycle d'Ewing et une quantité d'énergie $\frac{W}{2}$ s'y trouve dépensée par centimètre cube, W étant l'énergie représentée par la surface d'un cycle complet. Comme la barre de fer est supposée très longue, la distribution du magnétisme dans cette barre par rapport à la position de la bobine ne change pas, bien que cette bobine se meuve ; par suite,

Digitized by Google

l'induction à travers cette bobine est constante et il n'y a pas de forces électromotrices développées dans son circuit, de sorte que l'énergie électrique dépensée dans la bobine est uniquement due à sa résistance électrique. L'énergie dépensée dans le fer doit donc tout entière provenir du travail dépensé pour faire mouvoir la bobine. Or, si $\frac{F}{2}$ est la force nécessaire pour produire ce mouvement, le travail dépensé pour déplacer la bobine d'une longueur l est $\frac{Fl}{2}$; d'autre part, dans ce déplacement lq cm³ de fer ont été soumis à son action, et ont absorbé une quantité d'énergie $\frac{W}{2} \times lq$. Par conséquent

$$\frac{Fl}{2} = \frac{W}{2} lq,$$

ce qui démontre l'exactitude de l'équation (3), car la force F considérée dans cette démonstration est bien celle que donne la manière d'opérer indiquée plus haut.

En appliquant cette méthode à un fil de fer recuit de 0,0247 cm² de section, MM. Campbell et Dickinson ont obtenu les résultats indiqués dans le tableau II.

TABLEAU II. — DÉTERMINATION DE LA PERTE PAR HYSTÉRÉSIS

i	$\mathcal{H}$	F	W
± 0,156	± 182	757	30600
0,105	123	747	30300
0,049	59	653	26700

J. B.

Mesure électrique des hautes températures, par J. Mc Crae (¹).

L'auteur s'est servi du couple thermo-électrique platine-platine rhodié (à 10 p. 100) pour l'étude des points de fusion de quelques sels minéraux. On sait qu'entre 300° et 1 400° C. la force thermo-électrique est approximativement proportionnelle à la température.

Les fils de platine et de platine rhodié, de 10 cm. de longueur et 0,2 mm. de diamètre étaient soudés ensemble au chalumeau à une de leurs extrémités, les autres extrémités étant soudées à des fils de cuivre de 1 m. de longueur et 0,36 mm. de diamètre. Les jonctions avec les fils de cuivre étaient enfermées dans un tube de verre pour les soustraire aux variations de température ambiantes. La soudure des fils de platine est plongée directement dans le sel en fusion dont on veut déterminer la température.

Le courant était mesuré à l'aide d'un galvanomètre Quincke de 1 ohm de résistance. On a considéré comme négligeables les variations de résistance de l'élément, ainsi que la force électromotrice due au couple platine-sel-platine rhodié.

Pour l'étalonnement de l'élément on a pris comme points de repère, les températures d'ébullition du soufre et de la diphénylamine, soit 448° et 303°,84.

L'élément thermo-électrique étant plongé dans le sel fondu, on observait la déviation galvanométrique jusqu'au moment où, pendant la solidification, la déviation restait constante pendant quelques instants

Soient :

t_1 le point d'ébullition du soufre,
t_2 — — de la diphénylamine,
σ_1 la déviation avec la vapeur de soufre,
σ_2 — — de diphénylamine,
et σ — avec le sel étudié;

le point de fusion de ce sel est alors donné par la formule

$$t = t_1 + \frac{(\sigma - \sigma_1)(t_1 - t_2)}{(\sigma_1 - \sigma_2)}.$$

Par cette méthode ont été déterminés le point d'ébullition du chlorure d'étain, les points de fusion de différents sels et la température d'une flamme de lampe à alcool, du cône bleu et de la partie la plus chaude d'une flamme de bec Bunsen.

(¹) *Wiedemann's Annalen*, t. LV, n° 5, p. 95, 1895.

Digitized by Google

Voici les résultats obtenus :

	I	II
Chlorure d'étain	603,25	»
Iodure de sodium	694,7	667,5
Iodure de potassium	722,7	677,3
Bromure de potassium	745,5	709,2
Bromure de sodium	761,1	—
Chlorure de calcium	802,15	—
	801,11	—
Chlorure de potassium	803,9	—
	796	—
Chlorure de sodium	811	—
	814,5	—
Chlorure de strontium	853,75	—
Carbonate de soude :		
Echantillon *a*)	856,76	850
— *b*)	858,25	853,6
— *c*)	867,35	867,1
Sulfate de soude	881,25	—
	885,2	—
Carbonate de potasse :		
Echantillon *a*)	887,55	873,1
— *b*)	897,75	897,3
Chlorure de baryum	915,6	941
Sulfate de potasse	1058,9	1166,1
Flamme de l'alcool	1488	—
Flamme Bunsen, cône bleu	1542	—
— — partie chaude	1725	—

Les nombres de la seconde colonne ont été déterminés à l'aide d'un couple platine-platine iridié. Il faut noter que la force électromotrice de ce couple n'est pas proportionnelle à la température. A. H.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Paris. — *Belle-Jardinière.* Le magasin « A la Belle Jardinière » vient de décider la création d'une usine d'éclairage électrique dans les sous-sols de la rue du Pont-Neuf.

C'est la Compagnie électro-mécanique qui a été chargée de la partie électrique, et M. Delaunay-Belleville de la fourniture des chaudières. Les machines à vapeur adoptées sont des Willans accouplées, sur fondation commune, à des dynamos Brown.

L'installation comprendra 3 groupes électrogènes de 120 chevaux et 1 de 90 chevaux.

Paris. — *Buttes-Chaumont.* Il est question d'agrandir l'usine municipale des Buttes-Chaumont pour l'éclairage de la Mairie du XIX^e^ arrondissement, du Stand de la rue d'Allemagne, de la place Armand-Carrel, du carrefour Botzaris et le fonctionnement de fontaines lumineuses qui doivent être installées dans le parc. Les projets seront sans doute présentés prochainement à l'approbation du Conseil municipal.

Paris. — *Secteur Edison.* Le secteur Edison va augmenter le matériel de son usine de l'avenue Trudaine d'un groupe générateur qui sera incontestablement le plus puissant de la capitale.

Il s'agit d'un moteur à vapeur van den Kerchove d'une puissance de 750 chevaux pouvant être, en cas de besoin, poussé à plus de 900 chevaux, qui attaquera directement une dynamo système Brown à deux enroulements et deux collecteurs, laquelle alimentera simultanément les deux circuits de la distribution à 3 fils et 150 volts.

Moteur et dynamo sont construits par les ateliers Weyher et Richemond qui prennent en ce moment une extension remarquable au point de vue des applications électriques.

Allassac (*Corrèze*). — *Eclairage.* Voici encore une coquette petite ville qui donne une leçon instructive à tout un département. Il est vrai que cette ville a comme maire un député, M. de Lasteyrie, que ce député y possède un moulin et qu'il est de ceux que le progrès n'effarouche pas. Aussi, tandis que Tulle et Brives se sont liées, par des contrats à longue échéance, avec des compagnies de gaz antiques, tandis qu'Ussel est éclairée avec le quinquet fumeux de nos pères, Allassac va posséder sa distribution d'énergie électrique, alimentée par le moulin de Saillan. M. de Lasteyrie est en droit de compter sur la reconnaissance de ses administrés.

Belleville (*Rhône*). — *Traction.* MM. Chartron, propriétaire à Villié-Morgon, et Vial fils, entrepreneur à Lyon, ont adressé à M. le maire de Belleville une demande accompagnée d'un avant-projet dressé en vue de la création d'une ligne de tramway, à traction électrique et à voie d'un mètre de largeur, entre le pont de Belleville, sur la Saône, et la gare du même nom, sur la ligne de Paris à Lyon, par la Bourgogne, aux territoires de Belleville et de Saint-Jean-d'Ardières.

Le Conseil municipal de Belleville a appuyé très énergiquement cette demande et a exprimé le désir que l'entreprise fût réalisée le plus promptement possible.

Digitized by Google

Le Conseil général, dans la séance du 24 avril, s'est prononcé d'une manière favorable sur le principe du projet.

La Bourboule. — Station hydraulique. Sciences et commerce nous apprend que la construction du barrage de la Dordogne est commencée ; ce barrage aura 60 m. de longueur sur 16 m. d'épaisseur et 20 m. de hauteur. (Voir les nos 5 et 7 de 1895).

L'usine, située à côté du barrage comportera deux turbines d'une force de 150 chevaux, avec un emplacement pour une troisième en cas de nécessité. Ces turbines à axe horizontal, commanderont deux dynamos qui enverront la force au tableau de distribution. Une troisième dynamo pourra être également placée en cas de besoin.

Le courant sera divisé en deux lignes placées dans les bois de la rive gauche, et aboutissant aux deux extrémités de la ville ; chacune d'elles sera composée de deux câbles et pourra assurer seule le service d'éclairage et subvenir à tous les emplois de la force motrice électrique L'installation des supports des câbles conducteurs pour la conduite aérienne, jusqu'à la Bourboule, est commencée, ainsi que la maçonnerie de fond, dans le lit de la rivière. Jusqu'à ce jour, les travaux de préparation et de découverte seuls ont été exécutés, mais d'ici peu, le nombre des ouvriers s'élèvera à près de 300. Très prochainement, une nouvelle équipe sous la direction de M. Tainturier, ingénieur de l'entreprise, travaillera activement à la canalisation souterraine dans l'intérieur de la localité, par la pose de câbles isolés et armés, et procèdera rapidement à l'installation des appareils chez les particuliers.

Des conditions exceptionnelles seront faites aux abonnés. D'autre part la commission nommée pour procéder à l'installation des lampes sur les voies et places publiques a largement fait les choses, et en a paraît-il, sagement désigné la distribution.

Château-Thierry. — Éclairage. M. Fabius Henrion vient d'être autorisé à commencer les travaux d'installation de l'éclairage électrique de cette ville.

Compiègne. — Éclairage. L'usine établie par MM. Hippolyte Fontaine et Tricoche a pris depuis 1892 une extension assez notable. Mais son agrandissement ultérieur dépend de l'issue d'un procès actuellement engagé devant le Conseil d'Etat.

Hasparren (Basses-Pyrénées). — Eclairage. L'inauguration de l'éclairage électrique a eu lieu le 1er avril. Les concessionnaires, MM. Clavier et Cie, ont réussi à capter à 700 m. de la ville une chute qui leur donne une force motrice suffisante pour actionner trois dynamos à courant continu. L'éclairage public est assuré par des lampes à incandescence de 16 et 32 bougies et par des foyers à arc, l'éclairage particulier est fourni par un réseau indépendant.

Le Havre. — Téléphonie. L'une des lignes téléphoniques du réseau français dont le trafic s'est le plus rapidement développé, est celle de Paris-Havre.

Bien que cette ligne soit actuellement composée de deux circuits distincts, elle est si chargée que la Chambre de Commerce du Havre et celle de Paris se sont décidées à obtenir de l'Etat l'installation d'un troisième circuit.

Les deux Chambres se sont engagées à subvenir aux frais de la pose, soit 92 000 francs, dans la proportion de trois quarts pour la Chambre de Commerce du Havre et un quart pour celle de Paris.

La pose de ce troisième circuit est, à l'heure actuelle complètement terminée, les travaux ayant été poussés très activement et n'ayant pas duré plus d'un mois.

Lille. — Éclairage. La station centrale de la Société lilloise comprend des moteurs à gaz Otto et des dynamos de la Société l'Éclairage électrique ; elle est prévue, dès maintenant, pour recevoir 4 moteurs à gaz de 120-140 chevaux, actionnant chacun, par une courroie unique, une dynamo double de 80 à 90 kilowatts, 6 batteries d'accumulateurs de 1 500 ampères-heures chacune, fournies par la Société pour le travail électrique des métaux, et les appareils de réglage, de mesure, etc.

Suivant la *Revue industrielle* on n'a encore rien en place que 3 moteurs à gaz, 3 dynamos doubles, une batterie d'accumulateurs et les appareils correspondants.

La canalisation comprend actuellement 14 à 15 km. de câbles souterrains et quelques dérivations aériennes. Elle dessert le centre de la ville par deux feeders ; un troisième feeder et diverses parties de réseau seront mis en service dans le courant de l'année.

La canalisation est établie d'après le système à 3 fils et constituée par des câbles fortement isolés

Digitized by Google

au caoutchouc et armés de deux rubans de fer; ils sont placés directement dans le sol à une profondeur de 60 à 70 cm.; de plus, aux traversées de rues, les câbles sont enfermés dans des caniveaux en fonte.

Les dynamos, du système Labour, entièrement en acier, ont une disposition spéciale qui annule totalement la réaction de l'induit; il en résulte que le calage des balais reste fixe, quelle que soit la charge, et qu'il n'y a pas d'étincelles au collecteur.

Les accumulateurs assurent le service en entier pendant la fin de la nuit et la matinée.

Le démarrage automatique des moteurs à gaz est réalisé en se servant des dynamos fonctionnant comme moteurs et alimentées par le courant fourni par la batterie d'accumulateurs.

La plupart des abonnés sont reliés à un seul pont; ceux dont la consommation dépasse 30 à 40 ampères sont reliés aux deux ponts et leur installation est répartie en deux moitiés à peu près égales. Presque toutes les installations sont munies de compteurs, les quelques abonnés en appartement, qui n'ont pas plus de 5 à 6 lampes ont contracté des abonnements à forfait.

L'éclairage par des lampes à arc des principales voies desservies par la canalisation est décidé en principe; il en est de même de l'éclairage du théâtre qui doit comporter 800 lampes à incandescence. L'éclairage de l'Hôtel-de-Ville sera prochainement réalisé.

Luchon. — Éclairage. La Compagnie du Gaz demande à la ville de Luchon 350 000 francs pour le rachat de son usine; en outre, elle pose des conditions très lourdes en vue de l'éclairage électrique.

Le Conseil municipal a estimé que ces conditions étaient inacceptables, et les habitants attendront encore longtemps l'éclairage à l'électricité.

Meaux. — Accumulateurs. Une enquête vient d'être ouverte sur le projet d'installation à Meaux d'une fabrique d'accumulateurs au plomb par la Compagnie française pour la pulvérisation des métaux.

Montauban. — Canalisation. Le Conseil de préfecture de Tarn-et-Garonne vient de rendre un arrêté aux termes duquel il homologue le rapport de l'ingénieur en chef du département, et met la Compagnie d'électricité en demeure de couper ses fils dans un délai de deux mois, à dater de la notification de sa décision.

Roubaix. — Éclairage. Les travaux d'installation de l'éclairage électrique ayant été poussés très activement, il est probable qu'à l'heure actuelle cet éclairage est en plein fonctionnement.

Le Cercle de l'Industrie, voulant perfectionner l'éclairage qu'il possède déjà, a confié sa nouvelle installation électrique qui comprendra 2 moteurs à gaz de 36 chevaux chacun et deux dynamos de 250 lampes, plus une batterie d'accumulateurs, à la Société électrique du Nord, de Roubaix.

Rouen. — Éclairage. L'éclairage électrique de Rouen, ou plutôt d'une partie de la rive gauche, à l'aval du bassin maritime, va être prêt à fonctionner l'un de ces jours. Cet éclairage comprend les vastes terre-pleins du quai Jean-de-Béthencourt, de l'ancienne île Méru et des deux côtés du bassin. Il y a là une surface considérable, qui reçoit constamment des dépôts de fûts de vins et de bois, et dont la surveillance nocturne était difficile en raison de son étendue.

De concert avec l'administration des Ponts et Chaussées et la Chambre de commerce de Rouen, la ville a décidé de recourir à une installation de lumière électrique. Vingt-huit pylones supportant des lampes à arc d'une grande intensité (10 ampères), ont été établis. La machinerie est abritée dans les bâtiments édifiés par la Chambre de commerce pour le service des grues hydrauliques.

Le projet comprenait encore un phare pour l'éclairage de l'entrée du port, à l'aval de l'ancienne île Elie. Mais, les terre-pleins n'étant pas encore aménagés, on a dû surseoir à l'achèvement de ce phare.

Thoissey (Ain). — Éclairage et force motrice. Une enquête vient d'être ouverte sur un projet de concession du droit de distribution de l'énergie électrique dans cette commune, pour l'éclairage et la force motrice.

Les isolateurs télégraphiques qui ont cessé de plaire peuvent servir, si l'on en croit le Bureau central des télégraphes de Bruxelles, à border les plates-bandes de nos jardins. Un fort lot de vieux isolateurs a été vendu par cette administration dans ce but!

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Digitized by Google

Tome III. Samedi 29 Juin 1895. 2e Année. — N° 26.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

3, RUE RACINE, PARIS

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LA RÉSONANCE

DANS LES

CIRCUITS DE TRANSFORMATEURS

L'action d'un condensateur dans un circuit à courants alternatifs est d'intérêt théorique et d'importance pratique. Les phénomènes résultant de son intervention forment une classe, dont la résonance électrique est un des exemples les plus marquants. Dans un circuit simple il y a résonance lorsque la réactance totale due à l'inductance et à la capacité est nulle ; c'est-à-dire lorsque la réactance du condensateur est égale et opposée à celle de la self-induction. La période naturelle du circuit est alors égale à celle de la force électromotrice agissante. La résonance complète ne s'obtient donc qu'avec une force électromotrice à variations harmoniques.

Des effets de résonance peuvent être produits par l'influence réactive d'un circuit sur un autre par l'intermédiaire de l'induction mutuelle. Des effets de ce genre ont été étudiés par M. I. Pupin (1), traitant le cas d'un transformateur ayant un condensateur dans son circuit secondaire ; à cette classe de phénomènes il donne le nom de « consonance électrique ». Le même sujet a été discuté par C. P. Steinmetz (1).

La résonance se produit dans ce cas lorsque la relation entre le primaire et le secondaire est telle que la réactance apparente du circuit primaire est nulle. L'influence élastique du condensateur est transférée d'un circuit à l'autre, par leur action mutuelle, et la période naturelle du circuit primaire ne dépend pas seulement des valeurs de ses propres constantes, mais aussi de celles du circuit secondaire. Il y a un échange d'énergie entre les deux circuits grâce à l'intervention de leur champ magnétique commun : la période de ces oscillations détermine la période du système.

Le cas que nous décrivons est un cas particulier de résonance ; mais pour établir une distinction nous appliquerons le terme de « résonance simple » au phénomène observé dans un seul circuit, en nous servant du mot « consonance » pour l'action de résonance transmise d'un circuit à un autre.

Les conditions déterminantes de la consonance sont définies et faciles à déterminer. Nous avons eu l'occasion d'étudier l'action de condensateurs combinés avec des transformateurs, et de développer la théorie générale analytiquement et graphiquement. L'application de cette théorie générale aux divers

(1) *Electrical World*, 9 février 1895.

(1) *Ibid.*, 2 mars 1895.

Digitized by Google

phénomènes met en lumière certaines relations importantes. Nos résultats concordent avec la plupart de ceux de M. Pupin, mais non avec toutes ses déductions ; nous trouvons, en particulier, des conditions différentes pour la production de la consonance.

Des problèmes de cette nature se prêtent à deux modes de traitement conduisant à des résultats identiques : le calcul analytique général et la méthode graphique synthétique. Dans l'étude de la résonance, la méthode graphique est plus directe, et met en évidence des relations que l'analyse ne donne pas aussi simplement.

Méthode analytique.

Nous emploierons la notation suivante :

I_1 = intensité du courant primaire ;
R_1 = résistance du circuit primaire ;
L_1 = self-induction du circuit primaire ;
C_1 = capacité du circuit primaire ;
K_1 = réactance du circuit primaire ;
J_1 = impédance du circuit primaire ;
I_2, R_2, L_2, C_2, K_2 et J_2 sont les quantités correspondantes du circuit secondaire ;
E_1 = f. é. m. harmonique fournie au primaire ;
Φ = angle de différence de phase entre la f. é. m. primaire et le courant ;
M = coefficient d'induction mutuelle entre les deux circuits ;
$\omega = 2\pi \times$ fréquence ;
R_1', L_1', K_1', et J_1' sont les valeurs apparentes des quantités indiquées.

On remarquera que :

$$\text{réactance} = K = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

$$\text{impédance} = J = \sqrt{R^2 + K^2}$$

$$\text{impédance apparente} = J_1' = \sqrt{R_1'^2 + K_1'^2}.$$

Pour le cas où le secondaire seul contient un condensateur :

$$\frac{1}{C_1\omega} = 0 \qquad \text{et} \qquad K_1 = L_1\omega.$$

Dans le cas général (1), où des condensateurs de capacité C_1 et C_2 sont placés dans les circuits primaire et secondaire respectivement, nous avons pour le courant primaire :

$$i_1 = I_1 \sin(\omega t + \Phi)$$

où

$$I_1 = \frac{EJ_2}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

et

$$\Phi = -\operatorname{arc\,tang}\frac{b}{a} + \operatorname{arc\,tang}\frac{K_2}{R_2},$$

$$\operatorname{tg}\Phi = \frac{-\frac{b}{a} + \frac{K_2}{R_2}}{1 + \frac{b}{a}\frac{K_2}{R_2}} = -\frac{bR_2 - aK_2}{aR_2 + bK_2},$$

où a et b sont des abréviations pour les expressions suivantes :

$$a = -\omega^2(L_1L_2 - M^2) + \left(\frac{L_1}{C_2} + \frac{L_2}{C_1} + R_1R_2\right) - \frac{1}{C_1C_2\omega^2},$$

$$b = \omega(R_1L_2 + R_2L_1) - \left(\frac{R_1}{C_2\omega} + \frac{R_2}{C_1\omega}\right);$$

ou

$$a = R_1R_2 - K_1K_2 + M^2\omega^2$$
$$b = R_1K_2 + R_2K_1.$$

En substituant ces valeurs de a et b nous obtenons :

$$\operatorname{tg}\Phi = \frac{R_2^2K_1 + K_1K_2^2 - M^2\omega^2K_2}{R_1R_2^2 + R_1K_2^2 + M^2\omega^2R_2}.$$

Ces résultats peuvent être mis sous la forme

$$\operatorname{tg}\Phi = -\frac{K_1 - \gamma^2K_2}{R_1 + \gamma^2R_2} = -\frac{K_1'}{R_1'},$$

et

$$I_1 = \frac{E}{\sqrt{(R_1 + \gamma^2R_2)^2 + (K_1 - \gamma^2K_2)^2}} = \frac{E}{J_1'},$$

avec

$$\gamma = \frac{M\omega}{J_2} = \frac{I_2}{I_1}.$$

Nous avons ainsi pour le circuit primaire :

résistance apparente $= R_1' = R_1 + \gamma^2R_2$;
réactance — $= K_1' = K_1 - \gamma^2K_2$;
impédance — $= J_1' = \sqrt{R_1'^2 + K_1'^2}$.

La réactance primaire apparente est égale à la réactance réelle diminuée d'un multiple de

(1) Discuté par les auteurs dans leur mémoire « Sur l'induction mutuelle et la capacité », au Congrès de Chicago.

Digitized by Google

la réactance secondaire. Une relation analogue existe entre les résistances.

Pour compléter, nous ajouterons :

$$i_2 = I_2 \sin(\omega t - \Phi - 90^\circ - \theta_2)$$

avec

$$I_2 = \frac{M\omega I_1}{J_2} \qquad \text{et} \qquad \operatorname{tg}\theta_2 = \frac{K_2}{R_2}.$$

Ces résultats sont indépendants de toute hypothèse relative à la dispersion magnétique; ils sont rigoureusement exacts quand les capacités et coefficients d'induction sont constants et la force électromotrice harmonique. Pour une f. é. m. non harmonique la solution doit être appliquée à chaque composante de l'onde complexe; ou bien, on peut recourir à

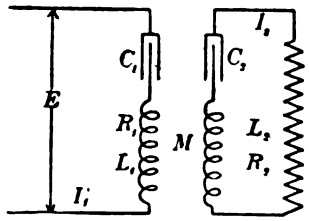


Fig. 1. — Disposition des circuits.

l'idée d'une onde sinusoïdale équivalente, mais elle ne conduit qu'à des résultats approchés.

Les conditions de la consonance s'obtiennent en cherchant les conditions pour lesquelles la résistance apparente du primaire est nulle; nous les discuterons après le traitement graphique du problème.

Méthode graphique.

On peut employer quatre méthodes de représentation graphique. On peut représenter des *forces électromotrices*, comme en figure 2, des *impédances* comme en figure 3, obtenues en divisant le diagramme des f. é. m. par le courant; des *admittances* (fig. 4), réciproques des impédances; et des *courants* (fig. 5) obtenus en multipliant les admittances par les f. é. m. Les figures 4 et 5 sont les réciproques des figures 2 et 3. Nous allons construire le diagramme (fig. 2) pas à pas, ce qui nous évitera la discussion détaillée des autres diagrammes. Notre étude particulière a pour but de déterminer l'action du condensateur dans le circuit secondaire.

En figure 2, $\overline{OA} = I_1$ représente le courant primaire supposé constant; $\overline{OB} = M\omega I_1$ décalé de 90° sur $\overline{OA}$, représente la f. é. m. induite dans le secondaire, la valeur instantanée de cette f. é. m étant $M\frac{di_1}{dt}$. La rotation

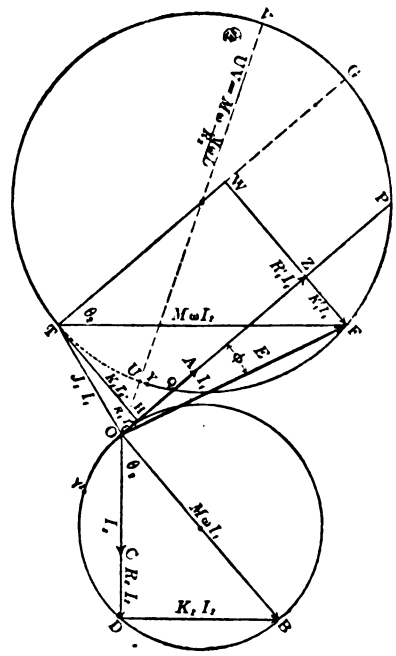


Fig. 2. — Diagramme des forces électromotrices.

positive a lieu dans le sens contraire à celui des aiguilles d'une montre.

Le courant secondaire $\overline{OC}$, est décalé en arrière sur $\overline{OB}$ d'un angle θ_2, dont la tangente est $\frac{K_2}{R_2}$. La f. é. m. primaire E est la somme de trois composantes : $\overline{OH} = R_1 I_1$ due à la résistance, $\overline{HT} = K_1 I_1$ due à la réactance, et $\overline{TF} = M\omega I_2$ ou f. contre-é. m. exercée par le secondaire. En présence du fer, R_1 est un coefficient de puissance, hystérétique et ohmique; $\overline{OH}$ est la f. é. m. pour toute dépense d'énergie autre que celle du secondaire. Les courants de Foucault et l'hystérésis sont donc pris en considération en tant que sources de perte d'énergie. L'hystérésis produirait aussi

Digitized by Google

un retard de l'aimantation sur le courant magnétisant, et $\overline{OB}$ serait à un peu plus de 90° derrière $\overline{OA}$.

La somme géométrique de la f. é. m. active $\overline{OH}$ et de la f. é. m. réactive $\overline{HT}$, détermine $\overline{OT}$, f. é. m. nécessaire pour vaincre l'impédance propre au primaire. La f. é. m. imprimée $\overline{OF}$ est la somme de $\overline{OT}$ et de la f. contre-é. m. $\overline{TF}$.

En admettant que I_1 est constant, $\overline{OB}$ est évidemment constant. Quand la réactance secondaire varie, le point D se déplace sur le cercle ODB, et le point F sur le cercle TQFPG. Celui-ci détermine la phase de la f. é. m. primaire $\overline{OF}$, qui peut être en avance ou en retard sur le courant et qui coïncide avec lui en phase aux points P et Q. Dans le cas représenté, la f. é. m. est en retard sur le courant.

La ligne $\overline{TF}$ montrant la f. contre-é m. due au courant secondaire peut être décomposée en :

$$\text{f. é. m. active } \overline{TW} = \overline{TF}\cos\theta_2 = \left(\frac{M\omega}{J_2}\right)^2 R_2 I_1;$$

et

$$\text{f. é. m. réactive } \overline{WF} = \overline{TF}\sin\theta_2 = \left(\frac{M\omega}{J_2}\right)^2 K_2 I_1,$$

En ajoutant ces composantes respectivement à $\overline{OH}$ et à $\overline{HT}$, nous obtenons les valeurs totales des f. é. m. active et réactive dans le primaire :

$$\overline{OZ} = R_1 I_1 + \gamma^2 R_2 I_1 = R'_1 I_1,$$
$$\overline{ZF} = K_1 I_1 - \gamma^2 K_2 I_1 = K'_1 I_1.$$

Le diamètre de ce cercle primaire est la valeur de $\overline{TF}$ dans la position $\overline{TG}$, qui a lieu pour $K_2 = 0$. Le courant secondaire est alors dans la direction $\overline{OB}$, et nous avons $I_2 = \frac{M\omega I_1}{R_2}$. Le diamètre du cercle primaire est alors

$$M\omega I_2 = M\omega \frac{M\omega I_1}{R_2}.$$

Un condensateur primaire modifie la longueur de $\overline{HT}$, le point T se déplaçant vers H, quand la réactance du condensateur augmente ; en fait, ce point peut même dépasser H vers la droite. Le diagramme représenté s'applique à un cas, où la réactance primaire n'est due qu'à l'inductance.

En l'absence d'un condensateur secondaire, le point F se déplacerait vers quelque point comme Y, et le point D vers un point correspondant Y', selon la résistance du secondaire et la grandeur des pertes magnétiques, qui sont ici supposées petites. Les positions limites du point F sont donc Y et T. Comme $\overline{TY}$ serait la position de $\overline{TF}$ en l'absence du condensateur secondaire, il s'ensuit qu'une ligne joignant Y à F montre la composante de la f. é. m. primaire due au condensateur secondaire. Le point F ne peut pas être situé sur la portion ponctuée de la courbe.

Si nous divisons le diagramme des f. é. m. (fig. 2) par la valeur du courant primaire, nous obtenons (fig. 3) un diagramme d'impédance, indépendant du courant et de la f. é. m. Ici $\overline{OH}$ représente la résistance ohmique (ou un coefficient de puissance englobant les autres pertes) ; $\overline{HT}$ est la réactance primaire ; $\overline{OT}$ l'impédance primaire.

L'impédance primaire apparente $\overline{OF}$ est la somme de l'impédance $\overline{OT}$ et de $\overline{TF}$, composante due à la réaction du secondaire ; $\overline{YF}$ est dû à la présence du condensateur secondaire.

La figure 3 nous donne :

$$\overline{OZ} = R'_1 = R_1 + \gamma^2 R_2 :$$
$$\overline{ZF} = K'_1 = K_1 - \gamma^2 K_2 :$$
$$\overline{OF} = J'_1 = \sqrt{R'^2_1 + K'^2_1}.$$

La figure nous donne aussi :

$$E = I_1 \sqrt{R'^2_1 + K'^2_1} = I_1 \sqrt{(R_1 + \gamma^2 R_2)^2 + (K_1 - \gamma^2 K_2)^2}.$$

Nous avons ainsi obtenu géométriquement les résultats déduits précédemment par les procédés analytiques. Dans la figure 3 nous avons pour les maxima et les minima de l'impédance apparente $\overline{OV}$ et $\overline{OU}$; pour la consonance nous avons les valeurs $\overline{OQ}$ et $\overline{OP}$. Nous pouvons remarquer que, tandis que pour la consonance le condensateur secondaire diminue la réactance apparente du primaire jusqu'à zéro, il donne une augmentation

Digitized by Google

correspondante de la résistance apparente.

Si, en figure 3, $\overline{OF}$ est un vecteur représentant l'impédance apparente du primaire, nous pouvons obtenir la valeur de l'admittance en prenant la réciproque de $\overline{OF}$. Or, $\overline{OF}$ est un vecteur ayant pour origine O et aboutissant au cercle TQFPG, quand on change la réactance secondaire. Du principe des vecteurs réciproques, il suit que, si le lieu du vecteur d'impédance est un cercle, le lieu du vecteur d'admittance sera également un cercle. Dans

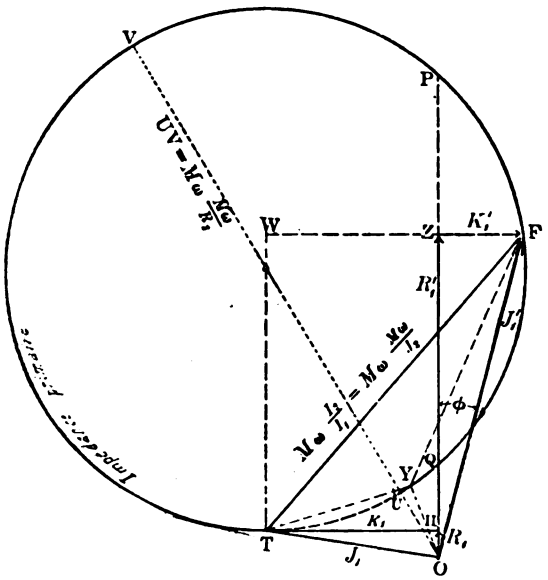


Fig. 3. — Diagramme d'impédance.

la figure 4, *of* est un vecteur d'admittance toujours égal à la réciproque de $\overline{OF}$ (fig. 3). Le cercle *vpfqu* (fig. 4) est la réciproque du cercle VPFQU en figure 3.

Supposons maintenant qu'une f. é. m. alternative E de valeur constante soit fournie au primaire. En multipliant notre diagramme d'admittance par E, nous obtenons le diagramme de courant (fig. 5). Dans celui-ci $\overline{oh}$ est le courant dirigé comme la f. é. m. ; $\overline{ht}$ est le courant réactif, et ne correspond à aucun travail. La résultante est $\overline{ot}$, courant à circuit ouvert, désigné par I_0. Il faut remarquer que $\overline{oh}$ est le courant représentant la puissance dépensée de toute façon, exceptée dans le circuit secondaire. Le courant réel I_1 dans le primaire, à secondaire fermé, est la résultante du courant $\overline{ot}$ et de la composante $\overline{tf}$ due à la réaction du secondaire.

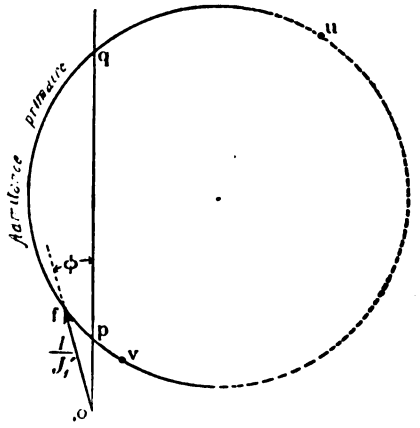


Fig. 4. — Diagramme d'admittance.

Quand on fait varier la réactance secondaire, le courant primaire change de valeur et de direction et a pour lieu géométrique le cercle représenté.

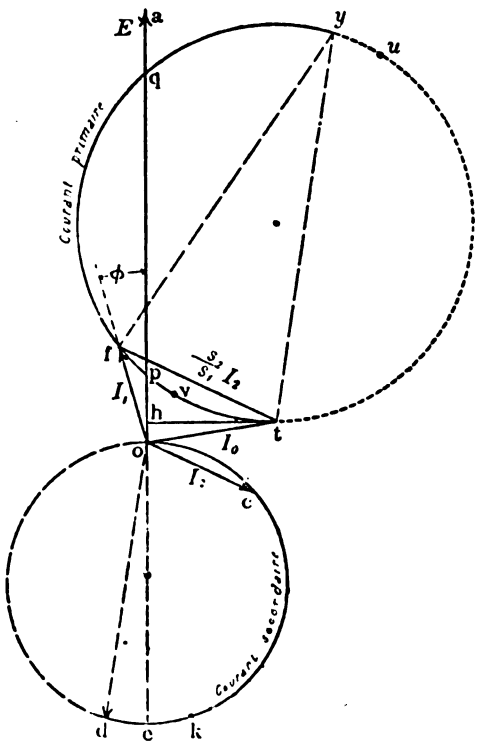


Fig. 5. — Diagramme de courant.

Digitized by Google

Les points de consonance p et q correspondent aux points P et Q du cas précédent. Il existe deux valeurs du courant primaire pour lesquelles la consonance peut avoir lieu.

Le courant secondaire I_2 varie proportionnellement à $\overline{tf}$; il est représenté en $\overline{oc}$, son lieu géométrique étant le cercle *cked*. Dans le cas présent (qui admet une certaine dispersion magnétique), le courant secondaire prendrait la position $\overline{od}$, si le condensateur secondaire était retiré du circuit. Ce vecteur ne pourrait se déplacer que sur la partie en pointillé de la courbe dans le cas où l'on ajouterait de la self-induction au circuit secondaire, ou, ce qui revient au même, dans le cas où la dispersion magnétique augmenterait.

Nous voyons donc que l'action du condensateur est opposée à celle de la dispersion magnétique, et que les deux effets peuvent se compenser. En fait, on peut donner au circuit secondaire une capacité telle qu'elle domine la dispersion magnétique ; à mesure qu'on charge un transformateur à potentiel constant, la f. é. m. secondaire peut croître, malgré la chute de potentiel ohmique et celle due aux fuites magnétiques.

En l'absence d'un condensateur (c'est-à-dire pour $\overline{oh} = 0$) le courant secondaire serait orienté comme $\overline{oe}$. Les pertes à circuit ouvert par courants de Foucault, hystérésis, etc., ajoutent au courant à secondaire ouvert la composante $\overline{oh}$, et en l'absence de fuites magnétiques le courant secondaire occuperait la position $\overline{ok}$.

Dans l'exemple actuel, les points d'impédance minima U et de courant maximum u se trouvent sur la partie pointillée de leurs cercles respectifs et ne pourraient donc être atteints dans la réalité. Toutefois, il n'en est pas nécessairement ainsi. Du principe des points réciproques, il résulte que les produits des courants maximum et minimum est égal au produit des deux valeurs consonantes du courant ; c'est-à-dire

$$\overline{ou} \times \overline{ov} = \overline{op} \times \overline{oq}.$$

Nous examinerons plus aisément les conditions de consonance en revenant à la figure 2. Quand le cercle primaire ne coupe pas $\overline{OP}$, il ne peut y avoir consonance ; la méthode analytique nous fournirait des valeurs imaginaires. Si l'une des conditions existe, l'autre doit également être réalisée, et ces deux conditions correspondent aux points P et Q, excepté pour le cas limite où le cercle est tangent à $\overline{OP}$. Dans ce cas, $\overline{HT}$ serait égal au rayon du cercle, et

$$K_1 I_1 = \frac{M\omega}{2} \frac{M\omega I_1}{R_2}.$$

Pour que la consonance soit possible, nous devrons donc avoir la relation

$$M^2\omega^2 > 2K_1R_2.$$

Les points de consonance se déterminent en égalant à zéro la valeur de la réactance primaire apparente, soit

$$K'_1 = K_1 - \gamma^2 K_2 = 0,$$

ou

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{M^2\omega^2}{R_2^2 + K_2^2}.$$

Deux valeurs de K_2 satisferont à cette équation. La fréquence est un facteur important dans cette relation. Les conditions de consonance sont réalisées lorsque $\overline{OD}$ est perpendiculaire à $\overline{TQ}$ ou à $\overline{TP}$.

Un cas particulier, qu'on peut appeler celui de la « consonance pure », s'obtient lorsque la période naturelle de chaque circuit séparé est égale à la période de la f. é. m. imprimée. La période du système dans ce cas est évidemment celle de chacun des circuits. K_1 et K_2 sont simultanément nuls. Le point T coïncide avec H et $\overline{OD}$ prend la position $\overline{OB}$.

Nous venons de voir que toutes nos conclusions relatives à la consonance découlent soit du raisonnement analytique, soit de la méthode graphique ; les résultats s'identifient. Mais la méthode graphique se présente comme la plus évidente.

Quoiqu'on démontre facilement que le lieu de l'impédance primaire et celui de l'admittance, quand on fait varier la réactance secondaire, sont des cercles, ces conditions ne sont

Digitized by Google

pas facilement réalisables entre de grandes limites de variation. Les diagrammes présentés se rapportent au cas théorique, où la capacité secondaire varie de zéro à l'infini. Ordinairement, les limites des variations sont étroites, comme l'a montré M. Pupin, et comme il résulte de nos propres expériences. Il faut espérer que M. Pupin, qui a soigneusement expérimenté sur la résonance simple, atteindra des résultats de même valeur dans les expériences sur la consonance électrique.

En dehors de l'effet de consonance, on a indiqué dans ce qui précède l'action compensatrice d'un condensateur par rapport à la dispersion magnétique. Quoique un peu en dehors de notre sujet, nous appellerons l'attention sur un autre effet qu'un condensateur convenable peut produire dans le circuit secondaire. Lorsque la réactance secondaire est annulée, on obtient la résonance secondaire simple, et dans ces conditions un courant primaire constant est tranformé en une f. é. m. secondaire constante.

Dr Fr. Bedell.
Dr A.-C. Crehore.

LA DÉTERMINATION DE L'INTENSITÉ MOYENNE SPHÉRIQUE DES SOURCES DE LUMIÈRE (1)

TROISIÈME MÉTHODE : MÉTHODE DE LA RÉFLEXION DIFFUSE

Les deux méthodes précédentes comportent l'emploi combiné d'une réflexion et d'une diffusion; on peut également réunir les deux opérations en une seule au moyen de la réflexion diffuse.

Il suffit pour cela de substituer au miroir elliptique ou parabolique du lumenmètre à zone un simple cône en substance diffusante : papier, carton, etc., comme le montre schématiquement la figure 30, et d'éclairer directement par la lumière qu'il diffuse le photomètre P, placé à une distance suffisante pour que l'angle d'émission des rayons diffusés puisse être considéré comme sensiblement constant en tous les points de ce cône, ainsi que la distance de ces points au photomètre.

Mais il est facile de se rendre compte, d'après les généralités indiquées précédemment, qu'un semblable procédé n'est applicable que moyennant certaines conditions.

Pour que l'éclairement produit sur le photomètre pût être sûrement proportionnel au flux de lumière qui passe à travers les fuseaux,

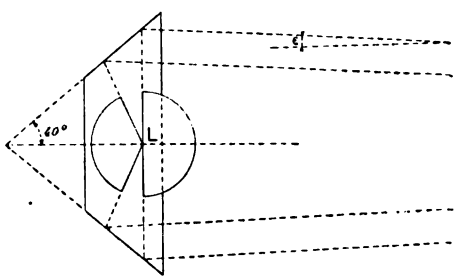


Fig. 30. — Schéma du lumenmètre à cône diffusant.

il faudrait que les angles d'incidence et d'émission fussent sensiblement constants pour tous les rayons de ce flux, car sans cela le pouvoir réflecteur varie dans de très grandes limites. En employant le diffuseur conique avec le photomètre placé à 7 ou 8 mètres, on réduit bien l'angle d'*émission* des rayons diffusés sensiblement à une valeur constante (1), mais non pas l'angle d'incidence, et les variations de celui-ci peuvent très bien faire varier encore beaucoup le pouvoir diffuseur dans la direction du photomètre.

Pour m'en rendre compte, j'ai étudié à ce point de vue des plaques de diverses substances diffusantes de la façon suivante : on plaçait le photomètre P (fig. 31), dans une direction oblique et bien déterminée, relativement

(1) Voir l'*Eclairage Électrique* du 22 juin, p. 538.

(1) On peut même en donnant au diffuseur une courbure convenable, faire que l'angle d'émission soit *rigoureusement* constant.

Digitized by Google

à la plaque AB ; celle-ci et le photomètre (microphotomètre Cornu) restaient fixes, tandis qu'on faisait varier l'incidence α d'un faisceau de lumière constant LO, tombant sur la plaque.

En portant sur chaque direction d'incidence

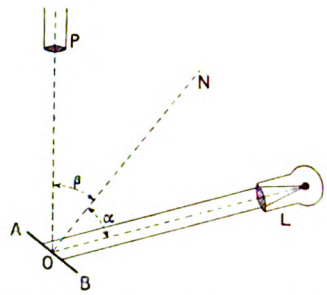


Fig. 31. — Détermination d'une indicatrice de diffusion sous une direction d'émission oblique et fixe, en fonction de l'angle d'incidence ; AB, plaque étudiée ; L, lampe mobile avec collimateur produisant le faisceau incident, P lentille du photomètre fixe.

une longueur proportionnelle au pouvoir émissif mesuré dans la direction du photomètre on obtenait l'indicatrice.

Les figures 32, 33 et 34 représentent par

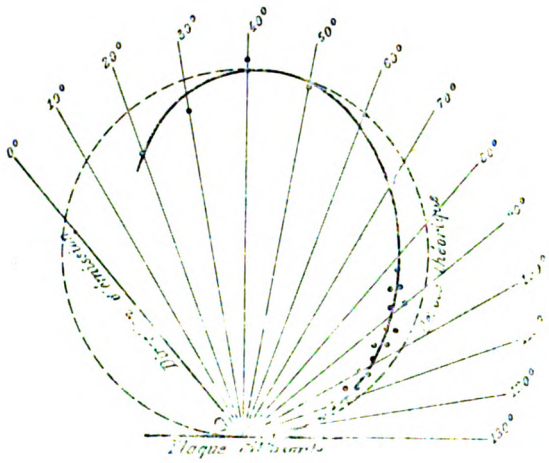


Fig. 32. — Indicatrice de diffusion par réflexion du verre opale dépoli sous l'angle d'émission constant de 30°.

exemple des indicatrices relevées pour le verre opale, la tôle émaillée polie et dépolie. Comme l'éclairement du diffuseur varie proportionnellement au cosinus de l'angle d'incidence α, il suffirait de diviser les chiffres obtenus par cos α pour obtenir les valeurs du pouvoir réflecteur R ; nos indicatrices $\rho = f(\alpha)$ peuvent donc être considérées comme représentant R en fonctions de α par la relation

$$R = \frac{f(\alpha)}{\cos \alpha}. \qquad (42)$$

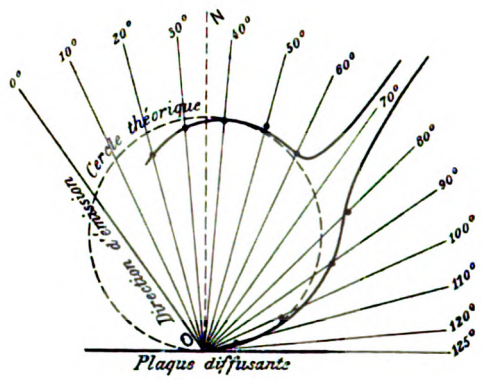


Fig. 33. — Indication de diffusion de la tôle émaillée polie sous l'angle d'émission constant de 35°.

L'écart constaté dans la plupart des cas, entre l'indicatrice et le cercle tangent à la plaque, montre que la diffusion ne suit pas,

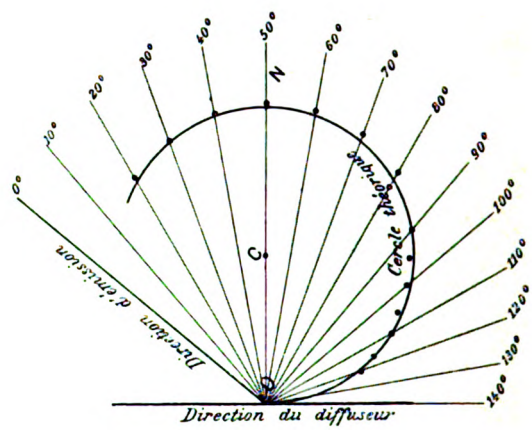


Fig. 34. — Indicatrice de diffusion de la tôle émaillée dépolie sous l'angle d'émission constant de 50°.

en général, la loi du cosinus (1) et que, par conséquent, les ouvertures de la sphère opaque

(1) La courbe 34 montre que les réflexions spéculaires sur la tôle émaillée altèrent dans ce cas d'une manière inadmissible la loi de la diffusion.

Digitized by Google

ne doivent pas être en général des fuseaux sphériques ; leur seconde arête doit donc être déterminée d'une manière appropriée.

En répétant le même raisonnement simplificateur que dans la seconde méthode, grâce à la faible amplitude des secteurs ouverts, on trouve qu'il suffit de tracer le profil de la seconde arête de chaque ouverture de façon que

$$\int_0^{\varphi} R\,d\varphi = k \sin. \delta, \qquad (43)$$

φ et δ ayant les mêmes significations que plus haut (p. 544) ; δ est l'angle d'un plan méridien du cône avec la verticale, et φ l'angle d'ouverture sphérique, mesuré dans le plan de l'axe (fig. 35). Or on a :

$$\varphi = \alpha_0 - \alpha. \qquad (44)$$

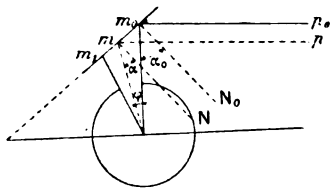


Fig. 35. — Calcul graphique de l'ouverture de la sphère pour l'emploi de la troisième méthode.

On peut donc exprimer R en fonction de φ d'après l'équation (42) :

$$R = \frac{f(\alpha_0 - \varphi)}{\cos(\alpha_0 - \varphi)} \qquad (45)$$

L'intégrale de l'équation (43) peut alors se calculer graphiquement pour chaque valeur de φ, ce qui permet d'exprimer δ en fonction de φ et par suite, de construire l'arête de l'ouverture.

Cette solution est, comme on le voit, passablement compliquée ; en outre, elle suppose que l'on peut toujours appliquer aux rayons issus d'une source de grande dimension placée au centre de la sphère, l'angle d'incidence moyen correspondant au centre géométrique lui-même. En réalité, lorsque R varie, cette hypothèse n'est pas rigoureusement exacte, car la variation peut être moins rapide quand l'incidence augmente que quand elle diminue, ou inversement.

Pour supprimer ces difficultés, j'ai cherché une substance diffusante pour laquelle R pût être considéré comme constant dans les limites d'emploi, de façon à permettre d'utiliser de simples ouvertures, en forme de fuseaux sphériques comme dans la première méthode ; le papier et le carton ne conviennent pas ; par contre, le marbre mat et le biscuit de porcelaine satisfont sensiblement à ces conditions, car ils suivent de près la loi de Lambert (1). Mais aucune fabrique n'a voulu se charger de construire une zone conique de cette forme en biscuit. J'ai pu heureusement, la remplacer fort avantageusement par une bonne tôle émaillée dépolie ensuite à l'acide fluorhydrique (2).

La courbe de diffusion relevée expérimentalement sous l'angle de 50° (fig. 34) se confond sensiblement avec le cercle théorique, ce qui permet de considérer R comme suffisamment constant. Un écran de ce genre est facile à obtenir sous toute forme et on peut assez bien l'entretenir propre par lavage. J'ai choisi comme angle générateur du cône, l'angle de 50° pour être sûr de supprimer tout effet de réflexion spéculaire résiduelle dans la direction du photomètre. L'appareil ainsi réalisé et représenté schématiquement en coupe par la figure 30, a le même aspect et les mêmes dimensions que celui de la figure 18, dont il diffère par la substitution du cône de tôle émaillée (ou autre substance équivalente) au miroir argenté ; il est construit par la même maison ; mais n'offre pas les mêmes garanties de précision que le précédent, comme va on le voir (3).

(1) Ce fait a été établi en ce qui concerne le marbre par Messerschmidt. *Wied. Ann.* 1888. n° d'octobre, p. 867 et planche VII.

(2) On pourrait employer également un écran en zinc blanchi à la chaux ou d'une manière analogue.

(3) Quand on dispose d'un diffuseur à pouvoir réflecteur constant R, on peut imaginer plusieurs variantes au dispositif que nous indiquons ici ; on peut aussi lorsque la distribution de la lumière est symétrique autour de l'axe vertical de la source se passer de la sphère en limitant simplement l'écran diffusant à deux plans verticaux passant par cet axe. Mais la disposition indiquée ici semble la plus convenable, et je ne crois pas utile d'en décrire d'autres moins parfaites.

Digitized by Google

Tarage. — Le tarage se fait exactement comme pour le lumenmètre à miroir.

Précision. — Des causes d'erreur nouvelles se présentent ici ; d'une part la difficulté d'entretenir le coefficient de réflexion rigoureusement constant (1) ; d'autre part l'effet des rayons renvoyés par l'écran sur lui-même (2). En effet, chaque élément de l'écran, diffusant dans toutes les directions, contribue à accroître l'éclairement des parties voisines dans une proportion d'autant plus importante que l'écran est plus grand. Cela oblige tout d'abord à supprimer un des deux fuseaux et à n'opérer qu'avec une ouverture à la fois. L'erreur possible ne reste pas moins égale à 1 ou 2 p. 100. Il est bon aussi pour réduire les variations possibles du coefficient de diffusion, de réduire à 10 degrés l'ouverture des fuseaux et de ne pas employer des sources de lumière ayant un diamètre supérieur au 1/10 de celui de l'écran. Enfin, il est nécessaire que le photomètre soit placé à une distance suffisante pour que l'on puisse le considérer comme également éloigné de tous les points de l'écran et recevant tous les rayons sous le même angle d'émission.

Plus exactement il faut que $\frac{\cos \varepsilon}{\rho^2}$ soit le même pour tout l'écran ; cette condition est d'autant plus facile à réaliser que l'angle des fuseaux et les dimensions de la source sont plus petits (3).

Avec le lumen-mètre de 0 m. 60 de diamètre et un photomètre placé à 9 mètres du centre de la sphère, la distance des points de l'écran au photomètre varie seulement de 9 centimètres, c'est-à-dire 1 p. 100 et $\cos \varepsilon$ varie de 1,000 à 0,999. L'erreur de ce chef est donc sûrement inférieure à 2 p. 100 ; par suite des autres causes d'erreur, la précision ne semble pas pouvoir cependant dépasser 5 degrés, ce qui peut suffire dans bien des cas.

(1) On pourrait, dans ce but, recouvrir l'écran d'une couche fraiche de magnésie blanche ou de plâtre, etc. chaque fois qu'on s'en sert. Mais la tôle émaillée, dépolie, suffit en général par elle-même.

(2) Avec deux fuseaux de 18 degrés, l'erreur peut atteindre environ 2 à 5 p. 100.

(3) On peut du reste donner à la surface diffusante une forme calculée de manière à satisfaire rigoureusement à cette condition, si on le désire, au lieu de garder la forme simplement conique.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

En résumé, le but de ce travail était d'introduire dans la photométrie une idée nouvelle, celle du *flux lumineux total des sources de lumière*, qui seule peut permettre d'apprécier le rendement lumineux sous une forme rationnelle ; sans vouloir supprimer absolument les errements anciens en ce qui concerne la détermination de la moyenne sphérique, dont on a vu plus haut au contraire de nouvelles applications, j'ai indiqué une série de méthodes spéciales permettant de déterminer par une seule mesure extrêmement simple le flux lumineux total (ou le flux hémisphérique) d'une source symétrique autour de son axe, et, par un petit nombre de mesures analogues, le flux de celles qui ne sont pas symétriques.

Ces méthodes sont de valeur inégale ; la seconde est plus compliquée et ne présente pas actuellement d'avantage sur les deux autres. La troisième est la moins précise, mais la moins dispendieuse, elle pourra rendre des services dans les petites installations économiques où l'on se contente de comparaisons sommaires à 5 ou 6 p. 100 près. La première enfin est parfaitement rigoureuse, l'appareil un peu plus coûteux, est un instrument précis et inaltérable, comme tout instrument scientifique.

Grâce à ces méthodes, on pourra désormais étendre les applications pratiques de la photométrie, définir d'une manière plus complète qu'on ne l'a fait jusqu'ici l'effet utile d'une source, et étudier avec sûreté, comme on l'a vu par un exemple, l'influence des divers éléments de fonctionnement des lampes à arc ; enfin les fabricants pourront faire connaître d'une manière précise et par un chiffre *sans équivoque*, la valeur de leurs appareils ou de leurs produits.

ANDRÉ BLONDEL.

Digitized by Google

SUR

LA TRANSMISSION ÉLECTRIQUE DE LA FORCE

POUR LES

APPLICATIONS MÉCANIQUES D'ATELIER

On recherche, en général, dans l'application des moteurs électriques aux machines-outils des divers genres à rendre l'ensemble aussi compact que possible. Lorsque le remplacement d'un engrenage intermédiaire par une courroie est possible, il y a tout avantage

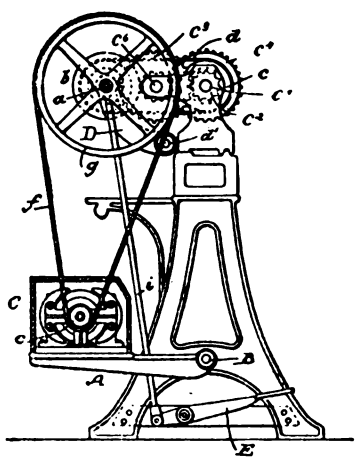


Fig. 15, — Banc de tour. Vue de côté.

à cause du meilleur rendement, mais les courroies doivent alors être très courtes et la variation de tension de la courroie est une grave objection ; pour remédier on n'a d'autre recours qu'une tension initiale considérable, ce qui fatigue les coussinets ou bien l'emploi de galets tendeurs qui conservent une partie des inconvénients. Utilisant la possibilité de monter le moteur électrique d'une façon mobile sur le bâti et profitant de cette mobilité pour produire automatiquement la tension de la courroie, la maison Siemens et Halske a breveté une disposition très originale dont le principe appliqué à un banc de tour est représenté par les figures 15 à 17.

(1) Voir *Eclairage Electrique* du 15 juin, p. 492.

Le moteur est installé sur une petite plateforme articulée après le bâti ainsi que la ou les flasques qui supportent les intermédiaires ;

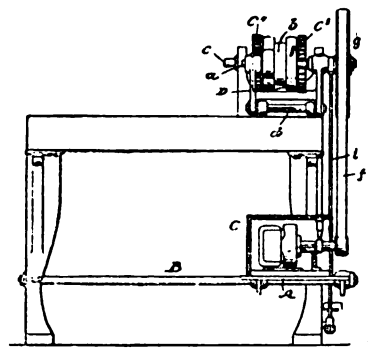


Fig. 16. — Vue de face.

une courte courroie entraînée par le moteur attaque l'arbre intermédiaire relié, lui aussi, par une courroie à l'arbre principal.

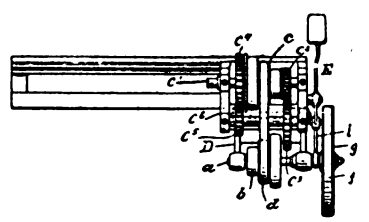


Fig. 17. — Plan.

Le débrayage peut être obtenu en soulageant l'un ou l'autre des bras articulés.

La figure 18 donne schématiquement la

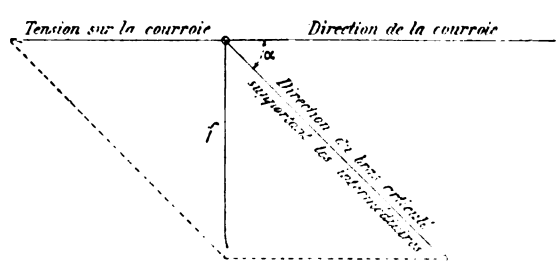


Fig. 18. — Schéma du montage de la commande par articulation et courroie tendue par le poids du moteur.
f, action verticale due au poids du moteur monté sur socle articulé.

représentation du montage : la tension des courroies est obtenue automatiquement par le poids du moteur et des intermédiaires. Par le

Digitized by Google

choix des angles suivant lesquels le système à charnières est disposé, on peut régler les composantes de telle sorte que les deux courroies soient tendues dans le rapport inverse des deux vitesses.

Dans le cas des figures 15 à 17, le détail du montage est le suivant :

A est la plate-forme articulée recevant le moteur C. Un bras D pivoté en *d* sur le bâti du tour porte un arbre *a* sur lequel est fixé la poulie *g* attaquée par la courroie ; sur l'arbre *a* est également une poulie à cônes *b* qui commande par courroies le cône *c* monté sur l'arbre c_1. Les engrenages c_2 et c_4 qui engrènent respectivement avec c_3 et c_5 montés sur l'arbre c_6 complètent la disposition ordinaire du tour.

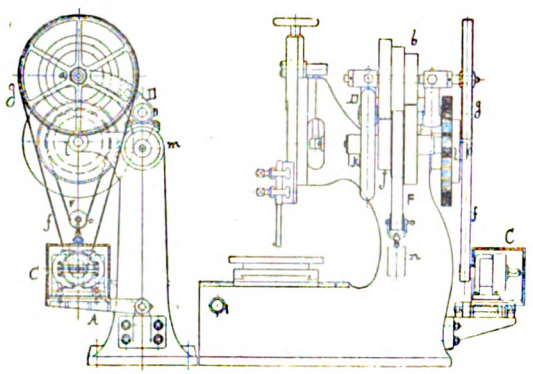


Fig. 19 et 20. — Mortaiseuse.

Le levier E muni d'une pédale, commande l'extrémité libre du bras D et permet de modifier la vitesse ou d'arrêter complètement le tour en soulageant la tension de la courroie *d* qui peut être alors être glissée dans la position voulue sur les cônes.

La tension de la courroie *d* est assurée par le poids du bras D et des pièces qu'il supporte ; l'entraînement de l'arbre *a* est déterminé par la tension de la courroie *f* qui supporte, en quelque sorte, le moteur.

Les figures 21 et 22 présentent une application du même système à une perceuse radiale. Ces engins si utiles dans les ateliers de construction, exigent toujours des mécanismes compliqués pour maintenir la commande dans une position quelconque du fourreau sur le fût. Avec le moteur électrique, celui-ci peut être placé sur le chariot porte-outil lui-même, grâce à l'emploi de conducteurs souples ; le montage de la radiale est alors limité à un simple bras tournant autour d'un pivot quelconque et ces machines habituellement lourdes et exigeant une fixité absolue, deviennent relativement faciles à déplacer.

Les figures 19 et 20 indiquent une modification du système précédent appliqué à une mortaiseuse et qui permet de réduire encore l'encombrement par suppression de la courroie de commande intermédiaire. Cette fois, les deux poulies à cônes sont placées côte à côte et leur entraînement réciproque est obtenu par friction en interposant une courroie. C'est, on le voit, un procédé très voisin de la transmission Evans. Dans le cas actuel, comme les vitesses circonférentielles des poulies à entraîner sont très faibles, la courroie F interposée entre les cônes *b* et *j* est tendue par un contrepoids *n*. Nous retrouvons encore le moteur *c* supporté par le plateau articulé A ainsi que le bras mobile D qui porte le cône *b*.

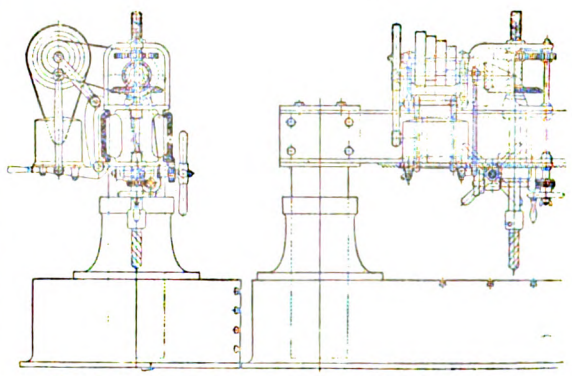


Fig. 21 et 22. — Perceuse radiale.

La courroie F est surtout employée ici à cause des cônes *b* et *j* dont on doit maintenir un seul élément en contact ; si on ne devait prévoir qu'une vitesse, l'entraînement pourrait se faire par friction directe entre poulies ou tambours cylindriques.

Les exemples pourraient être variés à l'in-

Digitized by Google

fini, car les types sont assez nombreux ; on peut dire que l'emploi des moteurs électriques permet de réaliser toutes les conditions possibles d'asservissement, de freinage, de variations de vitesse, etc.

La meilleure preuve qu'on puisse en donner c'est leur extension sur les bâtiments de guerre et certes les problèmes posés par la marine sont souvent compliqués; jusqu'ici aucun n'est resté sans solution pratique.

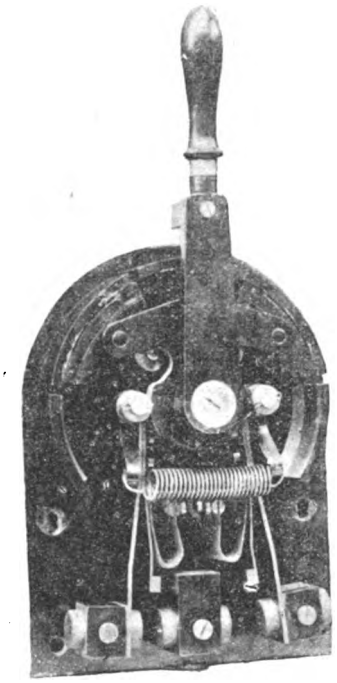


Fig. 23. — Commutateur interrupteur.

Avant de terminer il est bon d'attirer l'attention sur un point accessoire : le moteur électrique est toujours accompagné d'appareils auxiliaires, tout au moins de commutateurs et d'interrupteurs, souvent de rhéostats de démarrage ou autres. S'il importe que le moteur présente en toutes ses parties une construction robuste et appropriée au service demandé, s'il doit être compact et bien protégé contre les chocs, poussières, etc., il ne faut pas séparer de ces considérations la construction de l'appareillage accessoire. Rarement l'appareillage pour lumière pourra convenir.

En effet, les appareils pour lumière sont des organes qui se manœuvrent une fois pour toutes ou, en tous les cas, rarement et avec soin tandis que les appareils pour moteurs doivent pouvoir être confiés à des ouvriers quelconques qu'aucune préoccupation de manœuvre électrique ne doit distraire de leur travail particulier. Il en résulte, qu'en général, un même appareil devra combiner l'interrupteur, le commutateur inverseur et le réducteur de vitesse. S'il s'agit, par exemple, d'un tour à fileter, le nombre de renversements de marche s'élèvera peut-être à quarante et cinquante fois par heure. On conçoit alors l'importance qu'au-

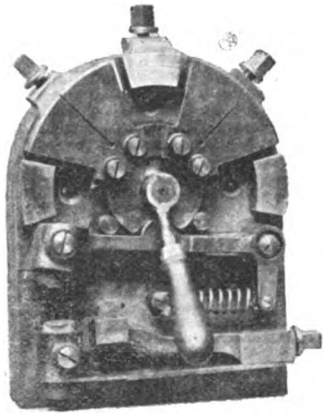


Fig. 24. — Interrupteur inverseur.

ront, pour l'entretien des contacts, les étincelles de rupture.

Une disposition excellente pour parer à cet inconvénient consiste à shunter les contacts sur lesquels la rupture se produit au moyen d'une paire de contacts en charbon qui supportent l'effet de dégradation de l'étincelle. Les deux appareils représentés par les figures 23 et 24 nous fournissent deux spécimens de cette application.

L'appareil, figure 23, est un commutateur interrupteur pour moteur en série. La manœuvre de la poignée à droite ou à gauche fait démarrer le moteur dans un sens ou dans l'autre. A chaque interruption le plat mobile en cuivre est shunté par les contacts en charbon qui se séparent ensuite en supportant l'étincelle de rupture. Le mouvement successif des plats mobiles et des charbons est obtenu par l'action

Digitized by Google

d'une came; un ressort énergique donne à cet appareil une action rapide.

L'appareil de la figure 24 est un peu plus compliqué; il fonctionne comme interrupteur-inverseur et comme réducteur de vitesse et est employé pour la manœuvre des électro-moteurs des petites locomotives électriques employées par le service de l'assainissement à Paris.

Ces appareils, construits par la Maison Bréguet ont donné d'excellents résultats.

Aux États-Unis les interrupteurs des stations centrales de tramways sont presque tous munis de dispositions analogues.

Nous nous proposons de revenir prochainement et plus en détail sur cette question de l'appareillage.

E.-J. BRUNSWICK.

SOUDURE ÉLECTRIQUE DES MÉTAUX

PROCÉDÉ H. ZERENER

Depuis plusieurs années, on a songé à utiliser l'énergie électrique comme source de chaleur pour la soudure autogène des métaux.

En 1885, M. Planté indiquait le premier procédé. Il fut bientôt suivi des brevets E. Thomson, 1886, Nic de Benardos, Lagrange, etc.

Les essais qui en ont été faits, n'ont pas toujours donné les résultats attendus; aussi, aujourd'hui, la plupart de ces procédés sont-ils à peu près abandonnés.

MM. Worms et Zwierzchowski ont présenté un nouveau procédé, dû au Dr H. Zerener de Berlin, qui semble répondre à tous les desiderata.

Si on place une flamme entre les deux pôles d'un électro-aimant, au passage du courant, la flamme s'incline et semble soufflée. C'est cette propriété qu'utilise le Dr Zerener pour disposer à son gré de la chaleur dégagée par un arc d'intensité réglable à volonté.

Plusieurs appareils ont été construits; nous nous contenterons d'en décrire deux.

Le premier (fig. 1) qui sert à braser, se compose de deux charbons A et B qui peuvent être mus par des vis tangentes *a* et *b*, dont la commande se trouve sous le pouce de l'opérateur. Un double solénoïde, dont les dimensions ont été calculées, est formé par un gros fil de cuivre mis en série dans le circuit; il est muni, à l'intérieur, d'un noyau de fer doux dont les

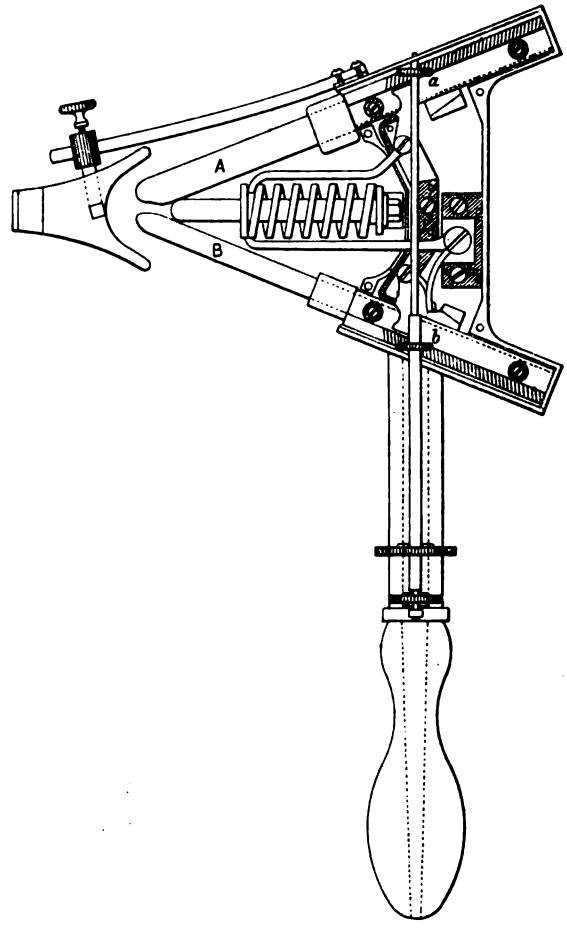


Fig. 1.

extrémités sont recourbées en forme de mâchoire. Un fer à souder peut être fixé en avant et permettre avec cet appareil de faire des soudures à l'étain. Le courant nécessaire est de 30 ampères sous 55 volts.

Un appareil un peu plus robuste absorbant 60 ampères a permis de faire des brasures de tubes de bicyclettes en moins de deux minutes ce qui correspond à une dépense d'énergie très minime.

Digitized by Google

Avec cet appareil, la brasure du fer se fait avec la plus grande facilité ainsi que la soudure du cuivre en employant comme décapant du borax pulvérisé mélangé à du chlorure de zinc.

On a pu par ce procédé obtenir de très bonnes soudures d'aluminium.

L'appareil pour la soudure autogène du fer, est un appareil automatique ; le rapprochement des charbons est réglé par un mouvement d'horlogerie.

Le solénoïde est dans ce cas-là excité en dérivation à raison de 12 à 15 ampères. La marche normale de l'appareil est de 150 à 200 ampères sous une tension de 65 à 70 volts.

La pièce à souder est placée sur une masse en fer, les deux parties séparées par un intervalle de quelques millimètres ; l'appareil est suspendu au-dessus à l'aide d'un fort ressort à boudin, ce qui permet de chauffer plus ou moins la pièce. Dans l'intervalle des pièces à souder on met des petits copeaux de fer que l'on amène à fusion complète ; puis pendant le refroidissement, on martelle vigoureusement cette partie. On a pu ainsi faire des fûts à pétrole, en tôle d'acier, de 3 à 4 mm. d'épaisseur résistant à une pression de 4 à 5 atmosphères. Un ouvrier un peu exercé peut faire une soudure de 1 m. de longueur et 4 mm. d'épaisseur en vingt-cinq minutes avec un courant de 170 ampères.

Ce procédé nous semble donc présenter de très grands avantages sur tous ceux jusqu'ici en usage. Ces avantages sont :

Economie considérable d'énergie.

Facilité d'emploi sur des pièces de toute forme et de toutes dimensions.

Enfin, le métal ne servant pas de pôle ne brûle pas ou ne s'oxyde pas, comme cela a lieu dans le procédé Benardos.

Une maison de Paris vient d'acheter ces procédés qu'elle compte appliquer pour la fabrication des bicyclettes.

Nous tiendrons nos lecteurs au courant des résultats obtenus.

P. TABOURY.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Mise à la terre du fil de compensation dans le système à trois fils.

La *Société électrotechnique allemande* a eu dernièrement, à propos d'un cas particulier, à se prononcer sur la question de savoir si, dans un éclairage par le système à trois fils, il y avait lieu, au point de vue des troubles éventuels dans les communications télégraphiques ou téléphoniques, de donner la préférence à l'emploi d'un conducteur médian isolé ou nu. Les bases de sa décision en faveur du conducteur nu, acceptée dans l'espèce, nous paraissent dignes de fixer pendant quelques instants l'attention de nos lecteurs.

Il faut tout d'abord nettement distinguer la condition normale des conducteurs, aussi bien isolés que possible sur toute leur longueur, et leur condition anormale résultant de dérivations en un ou plusieurs points.

C'est un fait parfaitement connu que, de deux conducteurs également bien isolés, le négatif est celui qui, avec le temps, présente le plus faible isolement et que cet état de choses peut progresser jusqu'à ce qu'il y ait finalement perte à la terre. Avec un fil de compensation isolé, on constate plus que jamais ce défaut d'isolement et des dérivations qui se produisent dans les habitations. L'emploi d'un conducteur nu peut bien donner lieu également à des dérivations analogues ; mais elles ne subsistent pas, les contacts du fil médian à la terre faisant sauter les fusibles sur les conducteurs extérieurs respectifs et révélant ainsi les points défectueux qui doivent être remis en état avant qu'on puisse de nouveau obtenir de la lumière.

L'emploi d'un fil de condensation nu offre en conséquence un moyen de découvrir immédiatement les points faibles de l'isolement et, par suite, met à même de les réparer.

Dans les conditions actuelles, tout contrôle

Digitized by Google

systématique d'isolement sur une installation de plusieurs milliers de lampes est impossible (sauf dans le cas de fonctionnement automatique des fusibles grâce à l'emploi d'un conducteur médian nu). Avec un fil de compensation isolé on a à faire entrer en ligne de compte la possibilité de terres plus ou moins parfaites se produisant avec le temps en différents points sur le conducteur négatif.

Tant que l'isolement des deux conducteurs reste bon, cette condition ne peut amener de troubles sur les fils téléphoniques que par suite de dérivation du courant d'un point faible à un autre, dérivation qui dépend de la différence de potentiel aux points particuliers du conducteur extérieur négatif. Cette différence de potentiel ne dépassant pas communément 2 volts, les courants à la terre ne peuvent pas

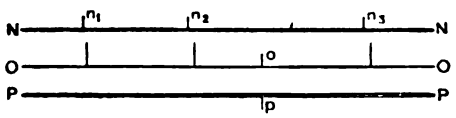


Fig. 1.

avoir une grande intensité. Cependant ces courants peuvent être dans ce cas plus intenses que ceux déterminés par l'emploi d'un conducteur intermédiaire nu, attendu que ceux-ci résultent d'une chute de potentiel non pas de 2 volts, mais seulement d'une fraction de volt.

La comparaison est tout à fait au désavantage du conducteur médian isolé quand, pour une cause quelconque, la dérivation se produit sur lui ou sur le conducteur extérieur positif. Dans la figure ci-jointe, NN, OO, PP, représentent respectivement le conducteur négatif, le conducteur médian et le conducteur positif extérieur. Pour plus de simplicité, ils sont indiqués droits, mais il ne faut pas oublier qu'ils suivent les rues, etc. Les lettres n_1, n_2, n_3, marquent les branchements particuliers où l'isolement est devenu défectueux avec le temps. Si alors on détermine une dérivation d'une façon quelconque, comme en coupant l'isolement en *o* sur le conducteur médian, ou en *p* sur le conducteur positif, il s'établit un courant de *o* ou de *p* aux trois points défectueux n_1, n_2, n_3. Les points *o* et *p* peuvent être éloignés des points n_1, n_2, n_3, etc., et, s'il existe dans leur voisinage des liaisons téléphoniques avec des plaques de terre, une partie du courant passera aux fils et aux appareils téléphoniques. Il faut également noter que, si les points *n* ne déterminent pas des terres franches, le courant peut être néanmoins suffisant pour troubler les communications téléphoniques, sans suffire à faire sauter les fusibles. En pareil cas on reste dans l'ignorance des points faibles jusqu'à ce qu'un examen attentif des câbles ait permis de localiser la faute. Cette perturbation ne cesse pas automatiquement par la fusion des coupe-circuits; elle subsiste jusqu'à ce qu'on ait trouvé les points faibles et qu'on les ait fait disparaître du réseau.

Si, au contraire, le conducteur médian est mis à la terre et s'il existe des fautes dans l'isolement des conducteurs extérieurs, on aura bien des terres, mais les troubles qui en résulteront seront de beaucoup moins longue durée, surtout si les points de contact du conducteur médian avec la terre sont nombreux. S'il était possible de mettre à la terre ce conducteur intermédiaire sur toute sa longueur, les courants provenant de défauts d'isolement prendraient en majeure partie le plus court chemin de la faute au conducteur médian, et passeraient uniquement par la terre en faisant ainsi un franc court-circuit là où ils n'atteindraient pas le conducteur intermédiaire. Comme les coupe-circuits fondraient alors immédiatement, le courant produit ne durerait qu'un temps très restreint, et ne pourrait pas déterminer de troubles aussi persistants que ceux susceptibles de se manifester avec un conducteur intermédiaire isolé.

La simple pose du conducteur sur la terre ne suffit pas à donner des contacts parfaits avec le sol; il y a dans certains cas isolement, si faible qu'il soit entre le conducteur intermédiaire et un sol bien sec. Pour la réalisation de la condition requise, la Société électrotechnique allemande recommande une connexion artificielle entre le conduteur médian

Digitized by Google

et l'armature de fer recouvrant le conducteur extérieur à des intervalles de 20 mètres, à l'aide de fils transversaux.

Il reste maintenant à voir dans quelle mesure en fonctionnement normal, c'est-à-dire quand les conducteurs externes ne présentent pas de fautes graves, l'emploi d'un conducteur intermédiaire nu est avantageux pour empêcher les troubles sur les fils téléphoniques. Des courants perturbateurs à la terre ne peuvent prendre naissance que lorsqu'il existe une différence de potentiel entre divers points du conducteur intermédiaire. Il faut donc voir quelle peut être l'importance de cette différence de potentiel sur un réseau de distribution convenablement établi. La différence de potentiel dépend de la conductibilité et de la charge du conducteur intermédiaire. Plus la première est grande et l'autre faible, plus est petite la différence de potentiel, et, par suite, le courant à la terre. La différence de charge entre chaque moitié du circuit est, à Berlin, au plus de 2 p. 100 de la charge maxima, de sorte que le conducteur médian porte au plus 2 p. 100 du courant total. S'il était possible d'équilibrer partout aussi bien les deux moitiés des conducteurs, on voit que le conducteur intermédiaire n'aurait à livrer passage qu'à un faible courant. Pour arriver à un bon équilibre, les branchements particuliers de plus de dix lampes doivent être alimentés par les deux côtés du réseau. Ce *desideratum* n'étant pas réalisable dans une petite ville telle que celle dont le cas lui était soumis, la Société électrotechnique a basé sa décision sur les résultats fournis par une autre ville d'importance analogue dont les courbes de charge ont pu lui être communiquées.

Ces courbes de charge correspondant à une charge maxima de 1 000 lampes brûlant simultanément, alors que le réseau qui lui était présenté en comportait 2 600, la Société a estimé que, si les résultats fournis par Berlin étaient trop favorables dans l'espèce, ceux de la petite ville prise comme type étaient par contre moins favorables et pouvaient en toute sécurité servir de guides. Or, dans ce dernier cas, les courbes de charge indiquaient pour quatre jours convenablement répartis sur l'ensemble d'une année, un maximum de charge sur le conducteur médian de 12 p. 100 environ de la charge maxima absolue des conducteurs externes. Entre ces deux extrêmes, 2 p. 100 à Berlin et 12 p. 100 dans le cas comparable, la Société a admis approximativement 10 p. 100 comme charge du conducteur intermédiaire considéré. Elle a pris pour section du conducteur médian 70 p. 100 de celle des conducteurs externes, ce qui lui a permis de calculer la plus grande différence de potentiel susceptible de se produire entre deux points quelconques de ce conducteur. Le réseau est calculé pour la chute ordinaire de potentiel de 2 volts. Si le conducteur de compensation porte la totalité du courant, la chute de potentiel sera de 2,85 volts ; mais comme on admet qu'il ne livrera passage qu'au dixième du courant, cette chute de potentiel ne sera que de 0,285 volt. Dans la petite ville type la charge maxima sur le conducteur intermédiaire se manifeste quand la charge absolue est très faible, c'est-à-dire pendant le jour. Mais dans la ville à installer, l'alimentation diurne doit être empruntée à une batterie d'accumulateurs, de sorte que, au moment de la charge maxima du conducteur médian, le courant est pris sur la batterie et dans ces conditions est absolument régulier, et par suite la différence de potentiel en différents points du conducteur intermédiaire ne subit que de petites et lentes variations. Cette valeur maxima de 0,285 volt est si faible qu'elle ne peut pas abaisser les indicateurs sous un courant prolongé dans les fils téléphoniques, ni influer sur la netteté des transmissions. Si l'emploi d'un conducteur intermédiaire nu revenait, comme le craignait l'Administration des Postes, à l'utilisation réelle de la terre comme conducteur, on aurait une action électrolytique qui détruirait rapidement le conducteur intermédiaire Or les câbles d'une installation analogue relevés au bout de six mois n'ont présenté aucune trace d'action de ce genre.

En somme, après enquête faite sur les résul-

Digitized by Google

tats techniques de l'exploitation dans la ville qui lui servait de type, la Société a émis l'avis que dans aucun cas on ne pouvait complètement éviter les troubles téléphoniques résultant de défauts d'isolement des conducteurs d'éclairage ou de transport d'énergie, et qu'il restait uniquement à choisir le système dans lequel tout d'abord des fautes étaient le moins susceptibles de se produire et où, en second lieu, si elles se manifestaient, les troubles qui pouvaient en résulter étaient le plus promptement réparables. A ce double point de vue l'emploi de conducteurs de compensation nus lui a paru offrir les meilleures garanties pour les motifs suivants :

1° Le potentiel du conducteur positif par rapport à la terre n'est que la moitié de celui que donne l'emploi de conducteurs médians isolés, et l'énergie perdue en cas de terres est réduite au quart de ce qu'elle serait autrement.

2° Tout défaut d'isolement qui se produit est automatiquement révélé par la fusion des coupe-circuits.

3° Les perturbations téléphoniques résultant de défauts d'isolement sont rapidement corrigées.

Elle est en conséquence arrivée à ce résultat, dans le cas qui lui était soumis, que l'emploi d'un conducteur médian nu pour l'installation d'éclairage électrique projetée devait être préféré à celui d'un conducteur isolé, tant au point de vue de la sécurité de la station centrale qu'à celui des troubles à éviter dans les communications téléphoniques.

Les signatures de MM. Slaby et Gisbert Kapp apposées au bas de ce rapport lui donnent une grande autorité.

E. B.

Commutateur à segments mobiles.

Toute disposition ayant pour objet d'affranchir un propriétaire de dynamo ou un directeur de station d'un souci ou d'une préoccupation quelconque est digne d'attention; et comme, à cet égard, les commutateurs de dynamos occupent la première place, la description du commutateur à touches mobiles Painter-Morrison est intéressante.

Ce commutateur diffère essentiellement du type actuellement courant en ce que, en cas de renouvellement nécessaire, il n'oblige plus à désouder ou à dévisser de ses segments les fils de l'induit. Cette opération est dans bien des cas aussi ennuyeuse que gênante; elle est plus

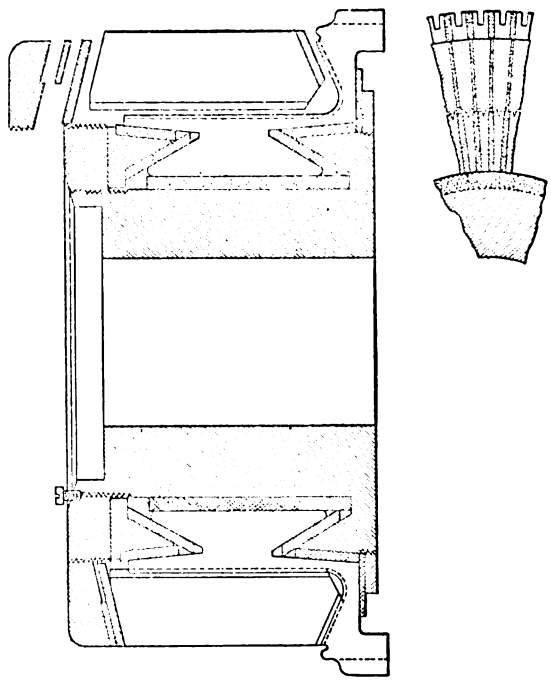


Fig. 1 et 2.

ou moins nuisible au fil et prend, en outre, un temps considérable, pendant lequel elle met hors d'usage la dynamo, alors même qu'on a en approvisionnement un commutateur de rechange.

Il n'en est plus de même ici, et cette nouvelle disposition, en même temps qu'elle pare à ces ennuis et difficultés, réduit aussi le prix des nouveaux segments uniquement à leur usure inévitable, en permettant d'utiliser toute la matière sauf un dixième environ de l'épaisseur des touches.

Les figures 1 et 2 ci-dessous en indiquent, par une coupe diamétrale et une coupe transversale, le mode de construction.

Digitized by Google

Comme on le voit, le manchon central est établi et maintenu de la même façon que dans les types actuels ; la seule différence réside en ce que la partie frottante appelée à s'user est plane d'un bout à l'autre. Chaque segment est, sur deux de ses bords, taillé en un double biseau qui s'engage dans deux rainures correspondantes en forme de V. Pour renouveler le commutateur, il n'est plus nécessaire de retirer de l'arbre le tube ou manchon, ni de détacher les fils.

Les segments sont tous de mêmes dimensions; ils peuvent être réunis d'avance en forme d'anneau, maintenus par un ruban ou des bandes et glissées tous ensemble sur le manchon, comme l'indique la figure 2, ou montés séparément sur le dit manchon. On visse ensuite sur lui la rondelle de fixation qui assujettit du même coup tous les segments. On voit que, de cette façon, les segments sont solidement maintenus, même en l'absence de mica ou autre matière isolante entre eux, et en fait cet isolant serait inutile si de fines particules de poussière métallique n'étaient susceptibles d'établir un contact entre les divers segments.

On arrive ainsi à donner à l'isolant 0,025 mm. de moins que l'espace qui sépare les segments, ce qui permet à ceux-ci de porter à bloc sur les rainures de fond et de bout du manchon et assure entre eux une connexion très intime. Tous les segments ayant exactement les mêmes dimensions, il est inutile de tourner la surface extérieure du commutateur après leur mise en place.

En cas d'avarie d'une section pour une cause quelconque, il est facile de l'enlever et de la remplacer par une autre sans toucher au reste, et ce changement s'effectue en quelques minutes. Cette disposition permet de donner une beaucoup plus grande épaisseur à l'isolement entre les sections sur le manchon, ainsi qu'entre les oreilles qui supportent les fils, ce qui augmente encore la sécurité de fonctionnement.

Dans la pratique, on revêt généralement d'avance d'une feuille de mica l'une des faces des segments de rechange, et, pour un moteur ordinaire de voiture, le montage du commutateur ne demande pas plus d'une demi-heure.

E. B

Règlement relatif aux installations électriques en Allemagne.

Un comité de la Société électrotechnique allemande a récemment élaboré, relativement aux installations électriques, certaines règles qui doivent être soumises à l'adoption de la Société lors de sa prochaine réunion annuelle à Munich au commencement de juillet. Ces règles dont nous extrayons les plus importantes sont applicables aux installations dans les bâtiments et maisons particulières où l'on

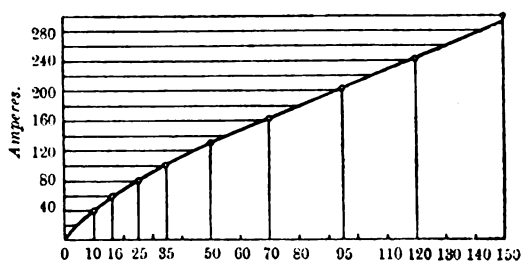


Fig. 1.

emploie des potentiels de 25 à 250 volts par courants continus ou alternatifs.

La température des fils de rhéostats de réglage ne doit pas dépasser 200° C., et les appareils doivent être établis de telle sorte que les matières combustibles qui les touchent ne s'échauffent pas au-dessus de 60° C. Pour les conducteurs il est imposé d'employer généralement le cuivre de conductibilité telle qu'une longueur de fil de 55 m. sur une section d'un mm², ait à 15° C. une résistance de 1 ohm, ce qui ne correspond guère qu'à une conductibilité égale à 93 p. 100 de celle de l'étalon de Matthiessen.

L'intensité maxima permise pour les fils et câbles de cuivre est régie par la courbe ci-dessus dont l'examen donne une densité de courant très élevée comparativement à celle pratiquée en Angleterre.

La plus petite section droite permise est,

Digitized by Google

pour les conducteurs, de 1 mm², et, pour l'appareillage, de 0,5 mm² par lampe à incandescence. Pour les endroits où le cuivre n'est pas indiqué, il est permis d'employer des fils de fer de section au moins quadruple de celle du cuivre. La plus faible section tolérée pour les fils souples est de 1 mm².

Les fusibles doivent être construits de telle sorte que leur fusion ne puisse donner lieu à un arc permanent. Pour les fusibles en plomb, le contact ne doit pas être établi directement par le plomb ; des pièces de contact en cuivre ou autre matière convenable doivent être appliquées aux extrémités des fils ou bandes de plomb. On ne peut employer que jusqu'à 25 ampères les bouchons fusibles à vis en plomb. Un seul fusible ne peut pas protéger plus de 12 lampes à incandescence ou un courant de 10 ampères.

La résistance d'isolement entre deux conducteurs ou entre un conducteur et la terre doit être au moins égale à la valeur fournie par la formule suivante :

$$R = 10\,000 + \frac{2\,000\,000}{n} \text{ ohms},$$

dans laquelle n est le nombre total de lampes à incandescence (supposées de 50 watts) alimentées ; un arc est compté comme équivalent à 10 lampes à incandescence, et le même rapport est applicable à chaque moteur ou appareil quelconque d'utilisation. Dans les épreuves d'isolement à la terre sur courant continu, on devra autant que possible relier au conducteur soumis à l'essai le pôle négatif du générateur. Les lectures ne doivent être prises qu'après une minute d'électrisation. Toutes les épreuves d'isolement doivent être faites sous la tension de fonctionnement normal. Dans les systèmes à fils multiples la tension à la lampe doit être prise comme tension normale de fonctionnement. Dans toutes les épreuves d'isolement, les lampes à incandescence, foyers à arc, moteurs et autres appareils d'utilisation doivent être déconnectés ; mais tout l'appareillage, les fusibles et interrupteurs ou commutateurs doivent être en circuit. E. B.

Courbes de durée et de rendement de lampes à incandescence.

La durée et le rendement resteront probablement toujours deux éléments antagonistes dans les types actuels de lampes à incandescence, et à cet égard l'observation attentive du voltmètre est plus nécessaire que jamais.

A titre d'enseignement plutôt que de renseignement, il n'est pas inutile de recueillir partout où l'on peut les rencontrer des données expérimentales sur cet important facteur de l'éclairage électrique. C'est ainsi que nous relevons dans *The Electrical Engineer*, de New-York, des courbes résultant d'une série de mesures prises sur des lampes de 16 bougies, consommant 3,1 watts par bougie, inconnues d'ailleurs chez nous. Elles sont de nature à intéresser tous ceux qui s'occupent d'éclairage électrique en ce qu'elles constituent un excellent argument en faveur d'une bonne régulation de f. é. m.

Prenons, par exemple, la courbe de rendement, figure 2 ; une lampe de 5,1 watts normalement consomme 4 watts quand on ne lui demande que 10 bougies, et 2,6 watts quand lui en fait produire 20. Or, d'après la courbe de la figure 1, cette différence ne représente qu'un écart de 11 volts dans la f. é. m. En d'autres termes, une régulation de 10 p. 100 près dans le circuit se traduit par ce fait que, à un instant, une lampe peut fonctionner à 4 watts, et l'instant d'après à 2,6 watts. C'est, sans aucun doute, ce saut brusque d'un certain rendement à un autre plus élevé qui est si désastreux pour des lampes, car, s'il existe un point faible dans la lampe ; ces variations brusques le développeront rapidement.

Ceux qu'intéressent les lampes à rendement élevé verront également d'après ces courbes qu'on peut obtenir d'une lampe de 16 bougies bien construite tel rendement qu'on voudra, et, si l'on désire essayer une lampe à 2,6 watts, il suffira de prendre une lampe de 16 bougies 3 watts et de lui faire donner 20 bougies. Une lampe de 10 bougies 4 watts fonctionnant sous 10 à 11 volts de plus donnerait le même

Digitized by Google

résultat. Quelques expériences de ce genre convaincront aisément que le rendement naturel des lampes à incandescence actuelles varie entre 3 et 4 watts par bougie, et qu'une lampe donnant un rendement supérieur à 3 watts par

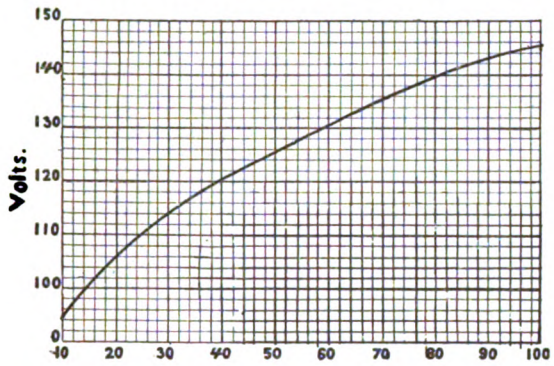


Fig. 1. — Courbe indiquant l'augmentation de f. é. m. correspondant à une augmentation d'intensité lumineuse d'une lampe de 16 bougies.

bougie a une trop courte durée pour réussir commercialement.

On peut dire que la plage critique des courbes se trouve entre 10 et 20 bougies ; dans cet intervalle, en effet, une petite variation de f. é. m. correspond à une grande variation

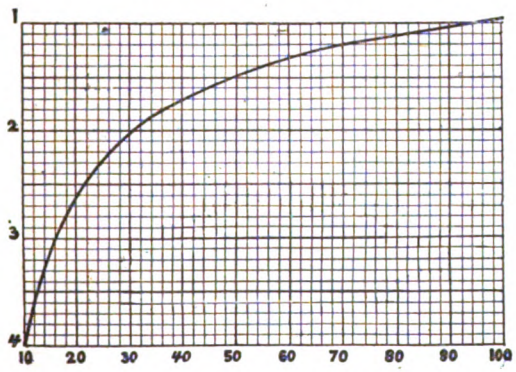


Fig. 2. — Courbe indiquant l'augmentation de rendement correspondant à une augmentation d'intensité lumineuse d'une lampe de 16 bougies.

dans le rendement, tandis que, au delà de 20 bougies, les courbes, comme on le voit par leur allure, n'indiquent qu'une très faible variation de rendement pour une notable variation de f. é. m. En effectuant ces essais, il est indispensable de surveiller attentivement les lampes pour s'assurer qu'elles ne s'accommodent pas d'elles-mêmes au circuit, c'est-à-dire que leur intensité lumineuse ne baisse pas immédiatement de manière à correspondre à un rendement inférieur à 3 watts par bougie ; il est, en effet, bien connu qu'un très grand nombre de lampes présentent cette particularité à un degré très marqué, ce qui explique probablement la longue durée revendiquée pour certaines lampes à rendement élevé.

E. B.

Éclairage par incandescence en série.

On sait, dit *The Electrician*, de Londres, à propos d'un projet d'éclairage électrique de deux paroisses d'Angleterre par lampes à incandescence en série, on sait que cet essai n'a jamais réussi à aucun degré dans le Royaume-Uni, bien qu'il ait donné quelques bons résultats sur quelques points du Continent et peut-être dans quelques petites installations américaines. On s'est toujours heurté à des difficultés de deux genres : d'abord la puissance lumineuse obtenue est généralement relativement trop faible ; en second lieu, la rupture d'un filament de lampe détermine l'ouverture du circuit, en dépit de tous les dispositifs automatiques, et amène l'extinction de toutes les lampes de la série.

M. Parfitt a imaginé et fait breveter un coupe-circuit magnétique combiné avec un système de conducteurs doubles positifs et un retour commun, de telle sorte que l'extinction d'une lampe n'affecte pas les lampes en série avec elle, mais seulement et momentanément, celle qui se trouve sur la section correspondante. Ce dispositif ressort clairement du schéma (fig. 1) qui indique le montage des lampes et des interrupteurs magnétiques. On voit que la partie positive du circuit est divisée en deux branches dans chacune desquelles circule la moitié du courant de ligne. Chaque lampe est montée en série avec les bobines excitatrices d'un électro-aimant, dont la résistance est égale à celle de la lampe. Une résistance est également montée en dérivation

Digitized by Google

sur la lampe ; cette résistance est reliée d'un bout à la ligne et en est disjointe de l'autre tant que l'armature de l'électro-aimant reste

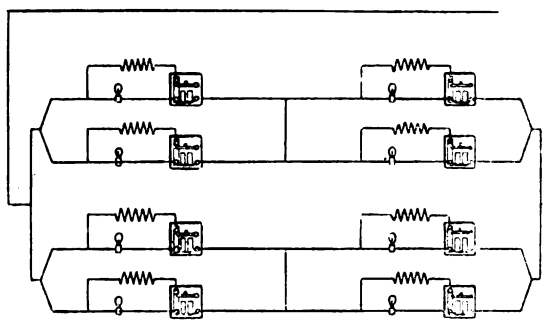


Fig. 1. — Système Parfitt d'éclairage par incandescence en série. Schéma de montage en circuit.

éloignée de ses pôles. Les électro-aimants sont calculés de telle sorte que le courant normal de la lampe ne détermine pas l'attraction de leur armature ; mais, si une lampe se rompt et qu'il passe un courant double dans

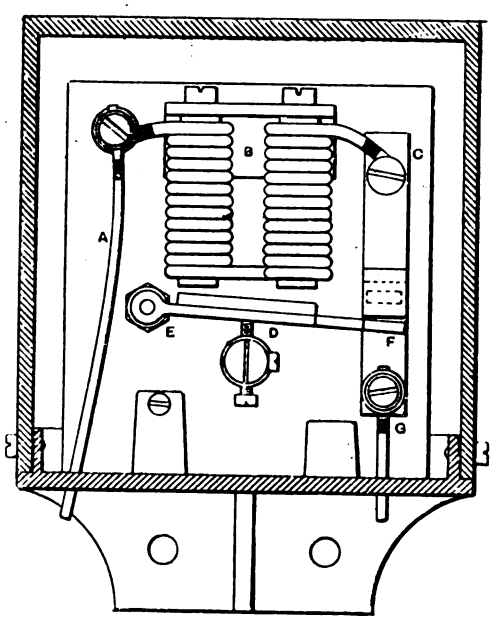


Fig. 2. — Système Parfitt d'éclairage par incandescence en série. Élévation de l'interrupteur automatique.

celle qui se trouve en série avec elle, et, par suite, par les bobines de son électro-aimant, son armature est attirée et, fermant le circuit par la résistance en dérivation, elle lui offre un passage de même résistance que celle de la lampe hors de service. Si la seconde lampe manque également, la totalité du courant passe alors par les bobines de l'électro-aimant et laisse le reste du circuit dans son état normal.

L'interrupteur constitue le caractère essentiel du système. Il est représenté en élévation dans la figure 2. Le courant arrivant par A passe par les bobines B de l'électro-aimant et quitte l'appareil en C. Une armature D articulée en E est attirée par l'action d'un excès de courant circulant dans les bobines de l'électro de manière à faire pénétrer son extrémité libre entre deux surfaces qui mettent en connexion la borne de serrage C avec la borne G à laquelle est fixé le fil allant à la résistance à introduire. On remarquera que, lors du contact de F avec ces surfaces de contact, le courant se divise : une partie continue à alimenter la lampe comme précédemment ; l'autre va par la plaque de contact et la vis G à la résistance en dérivation.

Les revendications du brevet Parfitt sont au nombre de deux, savoir :

1° Dans un éclairage électrique en série, subdivision de la ligne principale en plusieurs branchements qui laissent passer le courant et sur lesquels les lampes sont montées par groupes et en série, ces branches étant métalliquement reliées entre elles par paires, de telle sorte qu'un excès de courant passant par une partie du branchement se partage encore également avant d'aller aux lampes suivantes.

2° Emploi d'un interrupteur automatique destiné à fonctionner sous un excès de courant, de manière à permettre à une partie du courant d'aller aux lampes, tandis que l'autre partie passe par une résistance.

Il est douteux que cette disposition soit la seule capable de remplir les conditions nécessaires au bon fonctionnement d'un système de lampes à incandescence en série ; mais il est un fait, dit *The Electrician*, auquel sont empruntés les éléments de cet article, que, si aucun autre montage n'a été jusqu'ici appliqué dans ce but avec succès, le système Par-

Digitized by Google

fitt fonctionne depuis plus de quatre ans sans aucun accident qui lui soit inhérent.

Jusqu'ici, tout est correct, mais le journal anglais s'élève avec juste raison, à notre sens, contre des conclusions d'ordre financier figurant à la suite du prospectus, car il s'agit de lancer sur ses bases une nouvelle affaire. Elle ne nous intéresserait pas d'ailleurs autrement si nous ne rencontrions dans la discussion à laquelle il se livre des considérations d'ordre général susceptible, à ce titre, d'éveiller l'attention sur certains points, exacts en apparence, mais souvent trop habilement présentés en pareille matière.

Ce document tend à prouver que le système Parfitt fait ressortir l'éclairage à meilleur compte que tous les autres et qu'il est plus économique au point de vue du coût de production de l'énergie électrique et notamment de la consommation de combustible. Le maniement des chiffres à l'appui est bien simple: il consiste à se baser sur le fonctionnement à pleine charge des machines pendant la durée d'alimentation, et sur la suppression du courant pendant le jour. En négligeant ainsi l'excédent de capacité de la station sur l'alimentation du début et le facteur de charge qui joue un rôle si important dans les stations centrales en général, on arrive facilement à de très beaux résultats sur le papier.

Un autre avantage revendiqué par les promoteurs de ce système est le coût peu élevé de l'installation. Il peut être vrai que le système en série soit le plus économique comme poids de cuivre employé pour une distribution donnée d'éclairage ; mais cet avantage réside surtout dans la possibilité d'employer une canalisation aérienne, vu le faible diamètre des fils. Or la tendance administrative générale étant à la suppression de ces canalisations et à l'obligation de poser souterrainement tous les fils destinés à la transmission électrique, surtout sous haute tension, cette supériorité disparaît pratiquement. L'éclairage électrique par incandescence en série ne paraît en réalité convenir que pour des localités distantes les unes des autres et pour lesquelles cette considération fasse autoriser la canalisation aérienne.

L'emploi des interrupteurs magnétiques a donné lieu à l'invention d'une ingénieuse disposition grâce à laquelle une partie du courant principal est ramenée de toute lampe défectueuse à la station même par l'entremise du fil d'acier qui supporte, à chaque poteau, les conducteurs aériens. Ce fil ayant une résistance constante par kilomètre de parcours, le passage du courant par un ampèremètre convenablement calibré donne une indication sommaire de l'emplacement de la lampe défectueuse.

Comme conclusion, le système Parfitt, tout en n'étant pas appelé à révolutionner l'éclairage électrique, ne laisse pas que de présenter un certain intérêt. C'est un moyen ingénieux de doter de cette lumière des villages disséminés. On peut cependant se demander quel serait le résultat des pénalités encourues, conformément à tous les cahiers des charges, pour l'extinction d'une lampe, alors que, la station générale étant parfois très éloignée d'un des points de distribution, il serait à peu près impossible de remplacer avant le lendemain une lampe ne fonctionnant plus.

E. B.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Par MM. C. RAVEAU et J. BLONDIN

Étude spectrale des charbons du four électrique, par H. Deslandres (1).

« M. Moissan a annoncé récemment (*Comptes rendus*, t. CXIX, p. 1245) que les charbons de l'arc, dans son four électrique, sont purifiés par le passage des courants de grande intensité, et sont débarrassés des ma-

(1) *Comptes rendus*. t. CXX, p. 1259, séance du 10 juin.

Digitized by Google

tières étrangères qu'ils contiennent toujours en proportions notables (1).

« Or on sait qu'il est très difficile de purifier le charbon par voie chimique. Cette propriété du four électrique est donc importante; et en particulier elle intéresse les spectroscopistes qui, dans les recherches d'analyse qualitative, emploient souvent des électrodes de charbon aussi pur que possible. C'est ainsi que j'ai été conduit à faire l'étude spectrale des charbons du four électrique, pour reconnaître, d'une part, leur valeur dans l'analyse et, d'autre part, le spectre complet du carbone pur (2).

« M. Moissan ayant mis à ma disposition deux pôles de charbon, un positif et un négatif (longs de 0,20 m. et larges de 0,05 m.) qui avaient servi à ses expériences, j'ai prélevé sur chaque pôle de petits morceaux de charbon, à des distances variables de l'arc (0,15, 0,10 0,05, 0,01). Or, les morceaux les plus éloignés de l'arc montrent encore les raies des impuretés ordinaires du charbon qui sont les métaux alcalins et alcalino-terreux, avec le cuivre, le fer, le silicium; mais lorsque l'on se rapproche de l'arc, les raies des impuretés diminuent peu à peu et finalement disparaissent; il faut excepter seulement les raies du calcium qui, bien que très réduites, sont toujours visibles; ce fait étant dû au voisinage des parois en chaux du four, qui sont elles-mêmes volatilisées en partie avec les courants très intenses.

« La purification du charbon semble tenir à une cause purement physique; les matières étrangères, beaucoup plus volatiles que le charbon, se dégagent sous forme de vapeur. En fait, les parties les plus pures des deux pôles sont les champignons, qui se forment au pôle négatif par le transport du pôle positif au pôle opposé. C'est avec un de ces champignons qu'on a relevé le spectre suivant du carbone, qui contient moins de raies que les spectres similaires publiés par MM. Liveing et Dewar, Hartley et Adeney, Eder et Valenta.

Intensités	Longueurs d'onde	Intensités	Longueurs d'onde.
8	426,70	4	274,75
5	392,17	3	264,12
4	391,97		
2	316,83 ?	8	251,19
1	316,57 ?		
2	299,34	8	250,79
1	296,77	10	247,88
8	283,75	8	229,70
8	283,64		

(1) Les charbons sont en même temps aussi transformés en graphite.

(2) Ce travail a été fait avec le concours de mon assistant, M. Ferdinand Mittau.

Préparation et propriétés du molybdène pur fondu, par Henri Moissan (1).

« Dans un travail précédent (2), nous avons démontré qu'il était facile de produire une fonte de molybdène, en chauffant au four électrique un mélange de charbon et de l'oxyde de ce métal; nous donnerons aujourd'hui la suite de nos recherches sur cette question.

« Rappelons d'abord que le molybdène, qui s'obtient à l'état pulvérulent par réduction du bioxyde dans l'hydrogène (3), n'a été fondu au chalumeau par Debray que sous forme de petits globules renfermant de 4 à 5 p. 100 de carbone (4).

« Pour préparer le molybdène, nous sommes partis du molybdate d'ammoniaque pur qui a été réduit en poudre, et introduit dans un creuset en terre réfractaire n° 12 qui peut en contenir 1 kg. Le creuset muni de son couvercle est chauffé au four Perrot pendant une heure et demie. Après refroidissement, l'oxyde se présente sous forme d'une poudre dense d'un gris violacé répondant à la formule MoO^2 (5). Une chauffe fournit de 760 gr. à

(1) *Comptes rendus*, t. CXX, p. 1320, séance du 17 juin.

(2) H. Moissan, *Préparation au four électrique de quelques métaux réfractaires, tungstène, molybdène, vanadium* (*Comptes rendus*, t. CXVI, p. 1225; 1893).

(3) Le molybdène pulvérulent se prépare en réduisant au rouge sombre le bioxyde par l'hydrogène pur, puis en chauffant le métal obtenu dans un courant de gaz acide chlorhydrique.

(4) Debray, *Recherches sur le molybdène* (*Comptes rendus*, t. XLVI, p. 1098; 1858).

(5) Méthode de Bucholz pour la préparation du bioxyde.

Digitized by Google

770 gr. d'oxyde. Cet oxyde est additionné de charbon de sucre en poudre, dans les proportions suivantes :

Oxyde.	300 grammes.
Charbon.	30 —

« Dans ce mélange le bioxyde se trouve en notable excès par rapport au carbone. La poudre est tassée dans un creuset de charbon et soumise à l'action calorique d'un arc produit par un courant de 800 ampères et 60 volts pendant six minutes. On doit éviter de fondre complètement le métal afin de laisser une couche solide au contact du creuset, qui serait vivement attaqué par le molybdène liquide.

« Dans ces conditions, on obtient un métal complètement exempt de carbone, et il est facile, en une heure, d'en préparer plus de 1 kg.

« Si cette préparation dure plus de six minutes, le molybdène obtenu se liquéfie, ronge le creuset, se carbure, et l'on obtient une fonte de couleur grise, très dure et cassante.

« *Fonte de molybdène.* — Cette fonte possède une densité de 8,6 à 8,9, suivant sa teneur en carbone. Quand elle est saturée de charbon, elle est beaucoup plus fusible que le molybdène. Riche en carbone, elle est grise et cassante ; à 2,50 p. 100 de charbon, elle devient blanche et ne peut que très difficilement être brisée sur l'enclume. Elle présente tous les caractères du molybdène étudié par Debray. Elle dissout rapidement le carbone, et, lorsqu'elle se refroidit, elle abandonne ce dernier sous forme de graphite, exactement comme la fonte du fer ; cependant, lorsqu'elle est saturée de carbone, elle fournit un carbure cristallisé en fines aiguilles. La fonte grise de molybdène est très dure ; elle raye l'acier et le quartz. En fusion, elle fournit un liquide très mobile qui peut se couler tout en donnant à l'air de vives étincelles et d'abondantes fumées d'acide molybdique. Nous avons pu fondre et couler sans difficulté des lingots de 8 kg à 10 kg. Ces fontes ont donné à l'analyse les chiffres suivants :

	Fontes blanches			Fontes grises	
	1.	2.	3.	4.	5.
Molybdène. . .	95,83	»	»	»	92,46
Carbone combiné.	3,04	3,19	2,54	4,90	5,50
Graphite	0,00	0,00	0,00	0,00	1,71
Scories.	0,74	0,53	0,62	»	»

« *Carbure de molybdène.* — On prépare ce composé en chauffant au four électrique le bioxyde de molybdène avec un excès de charbon. Les meilleures proportions à prendre sont : bioxyde 250 gr., charbon 50 gr. Durée de la chauffe huit à dix minutes, avec un courant de 800 ampères et 50 volts. Lorsque l'on emploie un excès de charbon, on le retrouve dans la masse sous forme de graphite.

« Le culot obtenu a une cassure cristalline d'un blanc brillant. Il se clive avec facilité. Il s'écrase rapidement sur l'enclume, et l'on peut en séparer de petits prismes allongés à cristallisation nette. Sa densité est de 8,9, et sa composition répond à la formule Mo^2C.

« *Analyse.* — Dans les différents échantillons décrits dans ce Mémoire, le molybdène, après attaque par l'acide azotique, a été précipité sous forme de molybdate mercureux et finalement dosé à l'état de bioxyde. Lorsque le carbure ne contenait pas de graphite, le carbone était séparé par le chlore pur et sec, puis dosé, par combustion, dans l'oxygène, d'après le poids d'acide carbonique recueilli. Par cette méthode, les teneurs en carbone sont toujours un peu faibles.

« Nous avons obtenu les chiffres suivants :

	6.	7.	8.	Théorie pour Mo^2C.
Molybdène . . .	93,82	»	»	94,12
Carbone combiné	5,62	5,53	5,48	5,88
Graphite.	»	»	»	»
Scories	0,17			
	99,61			

« Si le carbure renferme du graphite, son attaque est faite par l'acide azotique dans une fiole à fond plat traversée par un courant d'oxygène. Les gaz dégagés passent ensuite dans un tube rempli d'oxyde de cuivre, la vapeur d'eau est retenue par un tube à ponce sulfurique et l'acide carbonique fixé sur de la

Digitized by Google

potasse. De l'augmentation de poids des tubes à potasse on déduit l'acide carbonique et le carbone. Le liquide acide du matras donne, après filtration et lavage, le graphite, et le molybdène est dosé ensuite par l'azotate mercureux.

« Cette nouvelle méthode nous a donné comme résultats :

	9.	10.
Molybdène	92,60	91,90
Carbone combiné.	5,15	5,43
Graphite	1,61	1,98

« En tenant compte du graphite et en faisant le rapport du molybdène au carbone, on obtient les chiffres suivants :

	9.	10.	Théorie pour Mo^2C.
Molybdène	94,45	94,10	94,12
Carbone combiné. .	5,55	5,90	5,88

« *Molybdène pur fondu.* — Le molybdène pur a une densité de 9,01. C'est un métal aussi malléable que le fer. Il se lime et se polit avec facilité. Il se forge à chaud. Il ne raye ni le quartz ni le verre. Bien exempt de carbone et de silicium, il ne s'oxyde guère à l'air au-dessous du rouge sombre. Il peut se conserver plusieurs jours sans altération dans l'eau ordinaire ou chargée d'acide carbonique. En présence de l'air, au-dessous du rouge sombre, il se recouvre d'une pellicule irisée comme le fait l'acier. Vers 600°, il commence à s'oxyder et donne de l'acide molybdique qui se volatilise lentement.

« Un fragment de molybdène, chauffé pendant quelques heures dans un tube de porcelaine incliné sur une grille à analyse, fournit, dans la partie supérieure du tube, un feutrage de cristaux d'acide molybdique. Le métal n'est recouvert d'aucun autre oxyde, et finit même par disparaître en laissant une belle cristallisation d'acide molybdique. Chauffé au chalumeau à gaz, un fragment de molybdène émet des vapeurs d'acide molybdique en quantité notable. Chauffé au chalumeau oxhydrique, il brûle sans fondre en fournissant d'abondantes fumées d'acide molybdique et un oxyde bleu fusible. Enfin, chauffé dans un courant d'oxygène pur, il prend feu entre 500° et 600°, et, si le courant d'oxygène est rapide, la combustion peut se continuer sans l'intervention d'une source de chaleur étrangère.

« Cette combustion se produit avec une vive incandescence et peut fournir une belle expérience de cours.

« Le chlorate de potassium en fusion attaque le molybdène avec violence. Il suffit de fondre le chlorate et de projeter à la surface un fragment de molybdène pour voir ce dernier devenir incandescent et tournoyer sur le liquide.

« La température de la réaction s'élève rapidement ; le molybdène brûle avec flamme, et il se dégage d'abondantes fumées blanches d'acide molybdique qui restent en suspension dans l'air sous forme de légers filaments blancs. Parfois, le fragment de molybdène est porté à une température assez élevée pour percer la paroi de la capsule qui est fondue au contact du métal.

« L'azotate de potassium en fusion fournit dans les mêmes conditions une réaction identique quoique moins violente avec formation de molybdate alcalin.

« Un mélange de molybdène et d'oxyde puce de plomb, chauffé dans un tube à essai, produit un très grand dégagement de chaleur et de lumière.

« Le soufre n'agit pas à 440°, mais l'hydrogène sulfuré à 1200° transforme le molybdène en sulfure gris bleuté, amorphe, ayant les propriétés de la molybdénite et laissant, par le frottement, une trace noire sur le papier.

« Le fluor n'attaque pas à froid le molybdène en fragments, mais lorsque ce métal est grossièrement pulvérisé, il se fait un fluorure volatil sans incandescence.

« Le chlore attaque le molybdène au rouge sombre sans incandescence apparente. Avec le brome, l'action se produit au rouge cerise et sans grande intensité.

« L'iode est sans action au point de ramollissement du verre.

« Les fluorures d'argent, de zinc et de plomb sont décomposés, mais sans formation de fluorures volatils.

Digitized by Google

« Le perchlorure de phosphore, légèrement chauffé, attaque avec facilité le molybdène en fournissant un chlorure volatil, qui s'altère facilement, en présence de l'humidité de l'air, en prenant une belle coloration bleue.

« Cette réaction se produit avec la plupart des composés du molybdène métal, oxydes, sulfure, acide molybdique, et molybdates. Elle peut servir à déceler rapidement le molybdène métallique ou ses composés. Elle s'exécute de la façon suivante :

« Dans un petit tube à essai, on place un fragment de la substance à essayer, on l'additionne d'un peu de perchlorure de phosphore et l'on chauffe lentement. Il se forme des fumées rougeâtres de chlorure et d'oxychlorure de molybdène, qui se condensent en un anneau brun plus ou moins foncé. Lorsque la quantité de molybdène est très faible, l'anneau peut être à peine visible. Il suffira de l'abandonner quelques minutes à l'humidité pour le voir prendre une teinte bleue intense due à la formation du chlorure hydraté.

« L'action des hydracides sur le molybdène pur est à peu près comparable à celle qu'ils exercent sur la fonte de molybdène. Ces expériences ont été décrites, d'ailleurs, par différents observateurs : Bucholz, Berzélius, Debray. Nous rappellerons seulement que l'acide fluorhydrique ne l'attaque pas, mais qu'il suffit d'ajouter une goutte d'acide nitrique pour que l'attaque commence et se continue ensuite avec énergie. En présence d'un mélange à parties égales des deux acides, la dissolution est complète ; il reste un liquide teinté de rose qui ne donne avec le ferrocyanure qu'une coloration rouge brun intense, mais pas de précipité. La masse, quelques heures après, se prend en gelée.

« Dans un courant d'azote, à la température de 1200°, le molybdène, en fragments ou en poudre, ne donne pas d'azoture.

« Le phosphore, au point de fusion du verre, ne s'y combine pas.

« Le bore se combine au molybdène à la température du four électrique en donnant un culot fondu couleur gris fer, renfermant des géodes tapissées d'aiguilles prismatiques.

« Dans les mêmes conditions, le silicium fournit un siliciure cristallisé, infusible au chalumeau oxhydrique.

« L'action du carbone mérite de nous arrêter quelques instants. Nous avons indiqué plus haut l'action du carbone sur le molybdène liquide, nous n'y reviendrons pas.

« Le molybdène pur, tel qu'il a été décrit précédemment, est un métal assez tendre, qui se lime très bien et qui ne raye même pas le verre. Si l'on vient à chauffer un fragment de molybdène pendant plusieurs heures, à une température voisine de 1500° au milieu d'une masse de charbon en poudre, il se cémente, prend une petite quantité de carbone (1), et sa dureté augmente. Il peut alors rayer le verre. Si maintenant on le chauffe vers 300°, puis qu'on le plonge brusquement dans l'eau froide, il se trempe, devient cassant et prend une dureté telle qu'il raye le cristal de roche.

« Inversement, si nous prenons de la fonte de molybdène à 4 p. 100 de carbone, fonte très dure et cassante, et que nous en chauffions un fragment pendant plusieurs heures dans une brasque de bioxyde de molybdène, cette fonte s'affine et sa surface peut, dès lors, être limée et polie.

« J'attribue cette décarburation de la fonte solide à une température très éloignée de son point de fusion, à la facile diffusion des vapeurs d'acide molybdique au travers du métal.

« J'estime que ces propriétés pourront trouver quelques applications dans la Métallurgie.

« Lorsque dans un métal saturé d'oxygène, tel que celui qui s'obtient dans la première période du convertisseur Bessemer, on veut enlever cet oxygène, on ajoute du manganèse qui s'oxyde plus facilement que le fer, puis passe par la scorie (Troost et Hautefeuille). On a proposé aussi d'employer l'aluminium qui a donné de bons résultats parce qu'il est très combustible, c'est-à-dire parce qu'il fixe l'oxygène, mais qui a l'inconvénient de pro-

(1) Le molybdène pur chauffé dans un courant d'oxygène ne trouble pas l'eau de baryte. Lorsque ce métal a été cémenté il donne au rouge dans un courant de gaz oxygène un dépôt blanc de carbonate de baryum.

Digitized by Google

duire de l'alumine solide. J'estime que le molybdène pourrait être utilisé dans les mêmes conditions; il aurait l'avantage :

« 1° De fournir un oxyde volatil, l'acide molybdique, qui se dégagerait immédiatement à l'état gazeux, en brassant toute la masse;

« 2° Employé en léger excès, il laisserait dans le bain un métal aussi malléable que le fer et pouvant se tremper comme lui.

« La poudre de molybdène, que l'on a cherché à utiliser jusqu'ici, ne peut rendre les mêmes services, parce qu'elle brûle rapidement sur le bain, au contact de l'air, avant d'avoir produit aucune action utile.

ANALYSE DU MOLYBDÈNE PUR

	11.	12.	13.	14.
Molybdène	99,98	99,37	99,89	99,78
Carbone	0,00	0,01	0,00	0,00
Scories.	0,13	0,28	0,08	0,17

« *Conclusions.* — Le molybdène peut être obtenu pur et fondu au four électrique. Ce métal, à l'état de pureté, a une densité de 9,1. Il est aussi malléable que le fer; à froid, il peut se limer, et à chaud, se forger. Chauffé dans une brasque de charbon, il se cémente et, par la trempe, fournit un acier beaucoup plus dur que le molybdène pur. Inversement, la fonte de molybdène, chauffée dans une masse d'oxyde, perd son carbone, s'affine, et prend les propriétés du molybdène.

« En présence d'un excès de charbon, le molybdène fournit, au four électrique, un carbure défini cristallisé de formule Mo^2C. »

Modifications de la chaleur rayonnée par la peau, sous l'influence de courants continus, par Lecercle (1).

« On admet que le courant continu qui ne provoque pas de contraction musculaire ne modifie pas la température d'un thermomètre placé sur la peau traversée par le courant. Nous avons recherché si un thermomètre placé à une certaine distance de la peau recevant la chaleur rayonnée demeurait également stationnaire.

« Nous nous sommes servi d'un thermomètre donnant le 1/10 de degré, à réservoir plan, et formé par un tube enroulé en spirale. Ce réservoir était à une distance de 3 cm. de la peau dans une cloche en verre de 60 cm^3, mastiquée sur l'arrière-train préalablement rasé de lapins immobilisés. La cloche était traversée par un courant d'air sec aspiré par une trompe débitant 8 litres toutes les cinq minutes.

« La surface cutanée recouverte par la cloche était de 54 cm^2.

« Nous avons utilisé le courant continu que l'usine centrale de Montpellier fournit sous un potentiel de 100 volts, et qu'une série de rhéostats métalliques et en graphite permet d'utiliser, médicalement et physiologiquement.

« Les électrodes étaient des plaques métalliques rectangulaires recouvertes de peau de daim. Deux électrodes de 25 cm^2 étaient réunies ensemble et à un même pôle de la source électrique ; on les disposait à la racine des cuisses. Une troisième électrode de 20 cm^2 rattachée au deuxième pôle était sur la région lombaire. Une continuité aussi parfaite que possible entre les électrodes et la peau était assurée au moyen d'éponges bien mouillées avec de l'eau.

« Nos expériences se rapportent à deux lapins A 2 000 grammes, B 2 500 grammes toujours en pleine digestion et mangeant pendant la durée des expériences.

« Le lapin attaché, nous attendions au moins deux heures avant de commencer les expériences afin que les températures fussent bien stationnaires. Dans chaque expérience, le courant passait pendant cinq minutes.

« De ces expériences il résulte que la chaleur rayonnée qui, d'une façon générale subit une légère diminution pour une intensité de 10 milliampères, augmente pour des intensités dépassant 20 milliampères.

« Dans des expériences que nous avions faites précédemment pour de faibles intensités avec le courant d'une pile, nous avions

(1) *Comptes rendus*, t. CXX, p. 1368, séance du 17 juin.

Digitized by Google

toujours observé un abaissement dans la chaleur rayonnée. Nous n'avons pas déterminé simultanément la température de la peau et la température rectale. L'expérience montre en effet que le lapin réagit aux impressions périphériques par une augmentation dans la chaleur rayonnée. C'est ainsi qu'au début d'une expérience, si nous cherchons à déterminer sa température cutanée en appliquant un thermomètre à la racine de la cuisse, nous voyons le plus souvent le thermomètre qui accusait la chaleur rayonnée s'élever de plusieurs dixièmes de degré. Une action mécanique peut donc produire un effet analogue à celui du courant continu. Il y a cependant une différence que nous avons toujours observée. L'action mécanique cessant, le thermomètre revient rapidement à la température initiale. Le courant cessant de passer, la température baisse avec une grande lenteur et se fixe généralement à un degré supérieur au degré initial.

« Pour éviter les causes d'erreur, nous avons recherché les températures cutanée et rectale, la cloche enlevée et le courant passant dans les mêmes conditions.

« Il résulte de ces recherches que, sous l'influence des courants continus, la température cutanée ne subit pas de modification.

« La température rectale baisse du moins pour des intensités comprises entre 10 et 30 milliampères.

» Pour de plus fortes intensités pouvant produire des contractions généralisées, la température rectale s'élève. Nos électrodes étant sur les cuisses et sur la région lombaire, nous pouvons nous demander si les effets observés étaient dus à une excitation de la moelle ou des nerfs périphériques.

« Nous avons cherché à dissocier les actions du courant en mettant les électrodes dans un cas sur la région lombaire et la région cervicale, dans un autre à la racine des cuisses et sur l'articulation fémoro-tibiale. Dans le premier cas, les variations de chaleur rayonnée étaient insensibles; dans le second elles étaient du même ordre que celles que nous avons indiquées. Ces modifications sont donc bien d'ordre réflexe; cela résulte, du reste, de ce que des actions mécaniques comme l'application d'un thermomètre produisent des effets analogues. »

BIBLIOGRAPHIE

Les fonctions elliptiques et leurs applications, par A.-G. GREENHILL, professeur de mathématiques au Collège d'artillerie de Woolwich, traduit de l'anglais par J. GRIESS, ancien élève de l'École normale supérieure, professeur agrégé de mathématiques au lycée d'Alger, avec une préface de M. P. APPELL, membre de l'Institut. — 1 vol. in-8° de XVIII-575 pages, 18 fr. *Georges Carré*, éditeur, Paris.

L'étude des fonctions elliptiques figure au programme de la licence et on rencontre à chaque pas ces fonctions, dès que l'on aborde les questions de mécanique ou de géométrie; aussi est-il curieux de constater que bien peu d'étudiants sont en état de se servir de ce puissant instrument et que beaucoup n'en connaissent que le nom, en ignorant jusqu'à la définition précise; on sait vaguement qu'il y a quelque analogie entre ces transcendantes et les fonctions trigonométriques; mais, tandis qu'on possède à fond toutes les propriétés de ces dernières, on est fort embarrassé lorsque l'on a introduit une fonction elliptique dans un calcul.

Cette difficulté tient en grande partie à la façon dont on présente la théorie de ces fonctions; c'est, semble-t-il, une conséquence et comme le couronnement de la théorie moderne des fonctions ; il est certain que les faits ainsi présentés sont groupés avec ordre et avec une logique apparente qui séduit; mais, il y a souvent danger à avoir recours dès le début d'une étude à une exposition d'une grande généralité, qui laisse de côté quantité de faits qu'ignore l'étudiant ou qu'il possède mal et sans lesquels la théorie est vide de sens.

Aussi, ceux que les longs développements,

Digitized by Google

qui conduisent d'ordinaire aux fonctions elliptiques, n'ont pas rebutés sont-ils néanmoins souvent arrêtés lorsqu'ils se trouvent en présence d'une application numérique, si simple soit-elle; l'habitude de jongler avec des symboles est telle que l'on a cru comprendre et que l'on s'est contenté de mots; ce grave inconvénient sera évité si l'on étudie les transcendantes elliptiques comme les fonctions élémentaires, en se plaçant d'abord au point de vue des quantités réelles; ce n'est qu'après s'être mis en possession des propriétés et des transformations élémentaires, que l'on pourra en aborder l'étude approfondie, en utilisant toutes les ressources de la science moderne.

C'est à ce point de vue que s'est placé M. Greenhill qui, dès le début, initie le lecteur à quelques applications intéressantes et simples; les élèves de mathématiques spéciales pourront lire avec fruit les premiers chapitres et y trouveront l'application la plus heureuse de la notion d'intégrale définie; quelques propriétés, faciles à établir, ne surchargeront pas beaucoup leur bagage scientifique et faciliteront, pour ceux qui veulent aller plus loin, l'étude de questions difficiles et trop négligées.

L'auteur a rendu, en publiant cet ouvrage, un véritable service à la science et à quiconque a l'occasion de s'occuper de mécanique ou de physique mathématique; je vais essayer, en analysant les différents chapitres, de faire saisir tout l'intérêt que présente ce travail.

C'est en intégrant l'équation du pendule que l'auteur introduit l'intégrale elliptique de première espèce sous la forme adoptée par Legendre; l'inversion conduit aux fonctions sn, cn, dn et à leurs dérivées; la considération de la période du pendule conduit à l'introduction de la période réelle $4\,K$ des fonctions elliptiques; la période imaginaire $4iK'$ est mise en évidence en suivant un procédé dû à M. Appell par la considération du pendule.

Ces notions, complétées par l'étude de la dégénérescence pour $k = 0$, $k = 1$, permettent d'étudier le mouvement pendulaire, aussi bien dans le cas des oscillations que dans le cas des révolutions complètes; la considération du mouvement projeté sur la verticale conduit à l'intégrale elliptique de première espèce en y; après avoir établi l'échange du module avec son inverse, l'auteur termine ce premier chapitre par une application aux surfaces minima et aux équations d'Euler dans le mouvement d'un corps solide.

Le chapitre II traite de la réduction des intégrales elliptiques de première espèce à la forme normale; les transformations qui permettent d'exprimer ces intégrales à l'aide des fonctions inverses des fonctions sn, cn, dn, sont indiquées en détail, en supposant que l'on ne s'occupe que des quantités réelles; les propriétés relatives à la périodicité sont établies en utilisant uniquement les propriétés les plus simples des intégrales définies, le cas où le radical porte sur un polynôme du troisième degré fait l'objet d'une étude particulière, dans laquelle s'introduit la notation de Weierstrass, ainsi que les propriétés élémentaire de la fonction $p(u)$ et les relations entre cette fonction et les fonctions $sn(u)$, $cn(u)$, $dn(u)$.

L'étude de ce chapitre, suivi d'exercices, mettra le lecteur à même de pouvoir se servir des intégrales elliptiques avec la plus grande facilité et suffit pour les applications mécaniques les plus fréquentes; de nombreux exemples tirés de la géométrie et de la mécanique, sont l'objet du chapitre III, dans lequel on trouve les graphiques des fonctions elliptiques, ce qui achève de donner une connaissance précise de leur nature.

Le chapitre IV est consacré au théorème d'addition, établi par la méthode de Jacobi, que l'auteur rattache aux mouvements de deux pendules; il est ainsi conduit aux polygones de Poncelet, qu'il étudie complètement dans le cas du triangle, du quadrilatère et du pentagone; ce chapitre se termine par l'application des fonctions elliptiques à la trigonométrie sphérique.

Dans le chapitre suivant, le théorème d'addition est donné dans sa forme algébrique; il est d'abord établi dans différents cas, notamment pour la fonction $p(u)$, en intégrant

Digitized by Google

l'équation d'Euler; après avoir indiqué la substitution de M. Hermite et une méthode de réduction à la forme normale de Weierstrass, l'auteur établit à nouveau le théorème d'addition comme cas particulier du théorème d'Abel relatif aux fonctions hyperelliptiques.

Le chapitre suivant traite des intégrales de seconde et de troisième espèce et conduit aux fonctions $Z(u)$, $\pi(u, a)$, $\theta(u)$ de Jacobi; le théorème d'addition relatif aux fonctions de seconde espèce est établi d'abord comme conséquence du théorème de Graves et Chasles, puis directement pour la fonction $Z(u)$; les théorèmes de Fagnan sont donnés en détail; de nombreuses formules montrent les relations qui existent entre ces différentes fonctions.

Dans le chapitre VII, l'auteur introduit les fonctions $\zeta(u)$, $\sigma(u)$ de Weierstrass et, par une méthode analogue à celle adoptée pour les fonctions de Jacobi, il donne les théorèmes d'addition de ces fonctions; il montre, d'après Halphen, que toute intégrale elliptique est formée à l'aide des fonctions $\zeta(u)$, $\sigma(u)$, $p(u)$ et les dérivées de cette dernière. Le théorème d'addition des fonctions elliptiques de troisième espèce résulte d'une extension de la méthode d'Abel donnée au chapitre V; des relations obtenues en supposant les paramètres égaux, on déduit les intégrales pseudo-elliptiques, dont l'auteur donne un grand nombre d'exemples tirés de l'étude du pendule conique et du mouvement d'un corps pesant autour d'un point fixe.

Le chapitre VIII est consacré à l'étude de la double périodicité des fonctions elliptiques, mise en évidence par la considération des ovales de Descartes; les arguments imaginaires étant introduits et ramenés aux arguments réels; suivent quelques applications à la géométrie des ovales, aux quadriques homofocales, à l'équation de Lamé.

La décomposition en un produit de facteurs et le développement en série des fonctions elliptiques sont rattachés aux théories physiques, notamment aux théories électriques de Maxwell; les facteurs primaires de Weierstrass recevant une interprétation physique; ce chapitre se termine par de nouvelles applications aux intégrales pseudo-elliptiques.

Dans un dernier chapitre l'auteur expose la théorie de la transformation de Jacobi et en déduit la multiplication de l'argument; un grand nombre de résultats ont été réunis dans ce chapitre.

On a pu voir, par ce court exposé, combien l'auteur s'est efforcé d'illustrer chaque théorie par des exemples heureusement choisis, mettant ainsi le lecteur en état de se servir aisément des fonctions elliptiques : les cinq premiers chapitres peuvent être lus très aisément et contiennent tout ce qu'il est utile de connaître pour la plupart des applications; les autres chapitres sont surtout intéressants pour ceux qui veulent étudier plus à fond cette théorie et les préparent à la lecture des grands traités et des mémoires originaux.

Remercions donc M. Griess de nous avoir fourni une traduction française de cet important ouvrage, et de n'avoir pas ménagé son temps et sa peine pour lui donner toute la précision et la clarté désirables.

GRÉVY,
docteur ès sciences,
professeur au Lycée d'Orléans.

CHRONIQUE

CHAMBRE SYNDICALE DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES

Réunion du mardi 4 juin 1895.

La séance est ouverte sous la présidence de M. Harlé.

Membres présents: MM. Bancelin, Bénard, Berne, Bernheim, Clémançon, Ducretet, Harlé, Hillairet, de Loménie, Mildé, Portevin, Radiguet, Roux, Sciama, Violet, Vivarez.

Se sont excusés: MM. Ebel, Meyer, Tricoche.

M. Filleul-Brohy, propriétaire-directeur de la maison Houry, 60 rue de Provence, à Paris, présenté par MM. Mildé et Harlé, est nommé membre adhérent du Syndicat.

Digitized by Google

La Chambre Syndicale des ouvriers électriciens dont le siège social se trouve 13, rue Aumaire, informe les membres du Syndicat qu'elle tient à leur disposition des ouvriers de toutes les spécialités électriques.

M. Deffez, conseiller patron des prud'hommes, invité par le président, assiste à la séance.

La parole lui est donnée :

« M. Deffez dit que préoccupé de voir que les Cours de cassation, d'Appel et le Tribunal de Commerce cassent et annulent les jugements rendus par les prud'hommes sur la question de dommages-intérêts pour renvoi brusque des ouvriers, et considérant qu'il pouvait être délégué vers l'une ou l'autre des maisons industrielles de ses collègues syndicataires pour examiner leurs différends avec ceux de leurs ouvriers brusquement congédiés par les contremaîtres, sans avertissement préalable ou délai de prévenance, après être restés dans ces maisons pendant un certain temps, et sans qu'aucun grief pût être élevé ni prouvé contre eux, il tenait absolument à dégager sa responsabilité d'un jugement à survenir, le cas échéant, du fait des prud'hommes.

« M. Deffez dit ensuite que l'ouvrier qui refuse son obéissance, qui insulte la personne chargée de le commander, qui est réfractaire à toute discipline, qui se présente en état d'ivresse et trouble l'atelier, est indigne de bénéficier du moindre délai de prévenance, lorsque ces défauts sont prouvés. Il ajoute que la loi du 27 décembre 1890 qui, depuis peu surtout, subit tant d'interprétations diverses, serait bientôt rendue inapplicable ; en conséquence, les textes devront en être modifiés pour les fixer et les rendre plus précis, à moins que la loi tout entière ne soit abrogée, sur la demande collective des syndicats professionnels, qui ne voudraient plus la subir. Cette loi, de laquelle on espérait voir résulter la paix et la discipline parmi les gens du travail menace au contraire de devenir une arme de guerre et de lutte, devant les abus et les résistances dont elle est l'objet. Il est regrettable de prévoir qu'un tel malentendu dure ainsi, en dépit des sentences des tribunaux supérieurs, tant que les deux éléments n'auront pas réglé définitivement entre eux, et d'un commun accord, leurs conditions d'existence. »

La communication de M. Deffez est discutée par MM. de Loménie, Sciama et Clémançon.

« M. Clémançon observe qu'en fait, les ouvriers quittent leur patron du jour au lendemain sans dédommagement ; il ne voit pas pourquoi les patrons ne pourraient pas agir de même, vis-à-vis de leurs ouvriers. »

Le président rend compte de la réunion du Comité central à laquelle il a assisté.

Les débats ont eu principalement pour objet le nouveau tarif postal des imprimés commerciaux.

M. Harlé s'est rendu également à la convocation qu'il avait reçue de M. Plichon, président de la Chambre Syndicale des chaudronniers-mécaniciens-fondeurs. La réunion avait pour objet le choix d'un candidat patron aux élections du Conseil de prud'hommes ; mais cette élection n'intéressait pas directement le Syndicat professionnel des industries électriques, les électriciens étant classés dans une catégorie différente de celle des chaudronniers-mécaniciens-fondeurs.

Le président informe la Chambre qu'il n'a reçu aucune proposition de candidature pour le poste de professeur d'électricité pratique à l'Ecole Diderot ; il croit devoir attribuer ce fait au faible traitement alloué par l'Ecole Diderot.

M. Sciama pense que le professeur de l'École Diderot pourrait exercer d'autres fonctions en dehors de l'Ecole, et entre autres, diriger des cours analogues à l'École d'application du laboratoire central d'électricité. Le cumul des deux traitements deviendrait alors suffisamment élevé pour susciter des candidatures.

La Chambre approuve l'idée de M. Sciama et le charge de s'entendre à ce sujet avec le président de la Société internationale des électriciens.

La Chambre de commerce française de Milan envoie un extrait du procès-verbal de la séance de son Conseil du 7 mai contenant :

1° L'ordre du jour voté par le Congrès des Chambres italiennes, tenu à Rome le 21 avril dernier, et que nous avions annoncé.

2° L'ordre du jour voté par la Chambre italienne de Milan, le 6 mai dernier.

3° L'ordre du jour voté par la Chambre le 7 mai dernier.

Cet extrait a été renvoyé à la Commission des douanes.

L'ordre du jour étant épuisé, la séance est levée.

N.-B. — La décision rendue par la Cour de cassation dans le différend entre M. Clémançon et

Digitized by Google

son ouvrier Malerne demande, pour être bien comprise, à être rapprochée de la décision rendue par la même Cour dans le différend intervenu entre M. Dehaitre et son ouvrier Maitre.

Il importe pour bien comprendre l'intention des juges, de se reporter à la discussion juridique qui a précédé ce dernier arrêt.

On reconnait alors que la Cour n'a pas du tout conclu au droit pour le patron de renvoyer brusquement son ouvrier; on reconnaît que la Cour n'a jamais prétendu passer outre aux usages professionnels que les Conseils de prud'hommes ont pour mission d'apprécier et de sanctionner.

Mais la Cour a interprété la loi du 27 décembre 1890 en ce sens que c'est la partie qui se prétend lésée à fournir les éléments de détermination du préjudice causé.

Ces éléments de détermination doivent être énoncés et appréciés à l'appui du jugement des premiers juges.

C'est pour n'avoir pas satisfait à ces conditions que les conseils des prud'hommes ont vu infirmer les décisions par lesquelles ils avaient accordé des indemnités de brusques congédiements aux ouvriers Maitre et Malerne.

La traction électrique n'est pas en honneur chez une certaine partie de la population bruxelloise. On veut doter la ligne de Laeken-Cureghem de voitures électriques, mais les habitants du quartier organisent meeting sur meeting pour protester contre ce projet, en alléguant que le quartier est trop populeux pour le dangereux train électrique.

La production du cuivre aux États-Unis. — Les deux plus importantes mines de cuivre des Etats-Unis, Calumet et Hecla, dans l'état de Michigan, viennent d'arrêter leur production pour une durée indéterminée, à la suite d'un trust de tous les producteurs américains. En restreignant la production, on veut faire monter le cours de ce métal qui intéresse surtout l'industrie électrique.

La traction électrique à Bâle. — On vient de mettre en service dans cette ville une ligne de tramway électrique. La force motrice est fournie par deux machines à vapeur compound de 120 chevaux chacune, de la maison Sulzer, à Winterthur. L'installation électrique comporte deux dynamos Alioth et Cie. Les voitures sortent des ateliers de la Société industrielle de Neuhausen. Leur équipement électrique a été fourni par la maison Siemens et Halske.

Le tramway électrique de New-York à Philadelphie. — Nous avons déjà parlé, dans notre premier numéro, de la longue ligne projetée entre New-York et Philadelphie; les plans actuellement adoptés comprennent également la réunion de la plupart des villes ou villages de l'État de New-Jersey entre elles et avec les principales lignes de tramways ou de chemins de fer. Une Compagnie a été fondée sous le nom de Central Jersey Traction Company, au capital de 5 000 000 fr., son rôle est d'assurer la construction de la ligne. Le promoteur de cette entreprise, M. Reall a ensuite organisé une autre Compagnie au capital de 50 000 000 francs pour exploiter la ligne construite par la première Compagnie; son nom est « New-York and Philadelphia Traction Company ».

Voici quels seraient les longueurs et les prix de revient des différentes parties de la ligne, de New-York à Philadelphie :

RÉSEAU DE	Longueur en km.	Coût en francs.
Paterson City et Passaic	51	7 500 000
Paterson à South Orange, y compris les villes d'Orange et Bloomfield	48	3 000 000
South Orange à Westfield	18	1 375 000
Westfield, Rahwag, Elizabeth à Springfield.	16	1 500 000
Elizabeth à Bound Brook, y compris Plainfield.	40	3 250 000
Raritan à New Brunswick, y compris New Brunswick	31	3 000 000
Bound Brook à Kingston	26	2 000 000
Kingston à Trenton.	22	1 750 000
Ville de Trenton	51	6 000 000
Trenton à Burlington	26	2 000 000
Burlington à Camden	29	2 250 000
Ville de Camden	51	6 000 000
Trenton à Frankford	32	2 500 000
Plainfield à Metuchen et [illegible]wick.	16	1 250 000
New Brunswick à South Amboy.	26	7 000 000
Total.	483	47 875 000

Tramway électrique au Japon. — D'après l'*Electricial Friend*, de Tokio, le premier tramway électrique installé au Japon a été temporairement inauguré le 1er février dernier; il comprend quatre voitures motrices, pour une longueur de voie de 6 1/2 km.; la voie sera bientôt prolongée et aura alors une longueur de 11 1/4 km.; elle reliera Kioto à Fuskimi. La force motrice est hydraulique.

Digitized by Google

Industrie américaine. — Essentiellement américaine, cette industrie qui consiste à fonder une Société pour l'exploitation d'un... canard. Cette fois, la combinaison mérite une mention particulière. Il s'agit tout simplement d'une *Interoceanic Electric Railway Company* qui, d'après certains de nos confrères d'outre-océan, aurait été fondée à Chicago, pour l'érection d'un chemin de fer sur viaduc entre New-York et San Francisco! Son capital ne serait que de 200 000 000 de dollars, soit 1 milliard de francs; et la part d'action serait émise à 10 cents, soit 50 centimes! Ce moyen pratique de réaliser la forte somme se passe de commentaires.

Transports de force sur les côtes du Pacifique. — D'après le *Pacific Electrician*, de San Francisco, il est peu de contrées qui possèdent d'aussi importantes chutes d'eau que les côtes du Pacifique. Depuis quelques années, les progrès de l'industrie électrique ont permis d'en utiliser un certain nombre, et de nombreux projets sont en voie d'exécution.

Des transports de force sont installés à Redlands, Bodie et Oregon City.

Il y a au moins une demi-douzaine de transmissions à des distances variant de 3 à 10 km.

La transmission de Folsom fournira d'ici trois mois, la force motrice à Sacremento, à 48 km. de distance. L'adjudication des usines de Kern County sera faite d'ici quelques semaines; des projets sont à l'étude dans les Comtés de Nevada, Amador, Monterey et Fresno. Seattle aura une installation très importante, ainsi que Tacoma. Plusieurs ingénieurs étudient l'alimentation de San Francisco au moyen de sources hydrauliques éloignées. Enfin, les ingénieurs des mines transforment leur matériel pour l'exploitation électrique de leurs puits.

Pile thermo-électrique. — L'*Electrical Engineer* contenait récemment la description de la pile thermo-électrique de M. Cox; nous en extrayons les renseignements suivants : L'augmentation de résistance que l'on observe dans les piles thermo-électriques est principalement due à l'oxydation et autres défectuosités des soudures. Pour remédier à cet inconvénient, M. Cox ne fait pas usage de soudures proprement dites, mais ses éléments sont constitués par des alliages dont la composition varie graduellement aux points de jonction et donnent un passage beaucoup moins brusque d'un alliage à l'autre.

Les soudures chaudes sont recouvertes d'un enduit vitrifié, tandis que les soudures froides sont entourées d'une enveloppe de cuivre à circulation d'eau froide. Les soudures intérieures sont chauffées au gaz dans les petits appareils, ou au charbon dans les plus grands appareils.

Comme consommation spécifique, l'inventeur indique qu'une pile donnant 5 volts et 5,5 ampères, soit 27 watts, consomme 42 litres de gaz par heure, une pile de 44 watts, 70 litres par heure. Il en résulterait par kilowatt-heure, une dépense de 1 600 litres de gaz, dépense qui n'est pas très supérieure à celle qu'exige un moteur à gaz moyen.

Un appareil pouvant donner 275 watts est disposé pour le chauffage au charbon. La consommation indiquée est de 1 1/4 centime par lampe-heure avec du charbon à 23 francs la tonne; mais on ne nous dit pas la puissance lumineuse de la lampe.

Eclairage électrique des trains. — Les voitures qui font le service sur la ligne funiculaire du pont de Brooklyn sont éclairées à l'électricité par une ligne aérienne. Ce n'est pas la première installation de ce genre; le trôlet avait déjà servi, en effet, au service exclusif de l'éclairage électrique de trains ou de tramways au passage des tunnels. On ne saurait voir dans cette disposition la solution du problème de l'éclairage électrique des trains, car les frais d'établissement des lignes ne permettent de l'appliquer que sur de faibles parcours.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

Appareillage.

Pages.

Commutateurs. — *Dorman et Smith*. 170
Plomb fusible. — *Siemens et Hird*. 220
Commutateur. — *Theerman*. 169

Appareils et méthodes de mesure.

Electromètres absolus à anneaux de garde. — *Abraham et Lemoine*. 43
Sur la mesure des potentiels très élevés. — *A. Abraham et J. Lemoine*. 433
Ampèremètres et voltmètres industriels. — *Arnoux*. 42, 566
Instruments de mesure des coefficients d'induction. — *Ayrton et Perry*. 168
Appareil portatif pour la mesure des résistances d'isolement. — *Ducretet et Lejeune* 314
Chercheurs de pôles. — *Ducretet et Lejeune*. . 124
Appareils pour la vérification des paratonnerres. — *Ducretet et Lejeune*. 131
Hystérésimètre. — *Marcel Deprez*. 314
Instrument de mesure de l'hystérésis dans la tôle de fer. — *Ewing*. 427
Détermination de la forme des courants alternatifs dans le cas où l'alternateur n'est pas accessible. — *J. A. Fleming* 33
Représentation des courants périodiques en coordonnées polaires. — *J. A. Fleming*. . . 520
Quelques expériences avec des courants alternatifs. — *Albert Griffiths* 138
Voltmètre. — *Harrisson*. 365
L'analyse chimique basée sur des mesures électriques. — *Laurie*. 431

Pages.

Ampèremètre. — *Nalder*. 72
Nouvel appareil pour mesurer le pouvoir inducteur spécifique des solides et des liquides. — *H. Pellat* 176
Sur une méthode optique d'étude des courants alternatifs. — *J. Pionchon*. 232
Le compteur d'électricité Grasset pour courants continus. — *J. Reyval*. 123
Electromètre à l'huile. — *Rowland*. 191
La pile Clark en circuit fermé. — *S. Skinner*. 88
Electromètre. — *Thomson*. 364
Sur le phénomène de Hall et la mesure des champs magnétiques. — *Edm. van Aubel*. . 398
Un galvanomètre extrêmement sensible. — *Pierre Weiss*. 43, 424

Applications mécaniques de l'électricité.

Applications mécaniques de l'électricité. — *G. Richard* 13, 101, 245
Aiguillage électrodynamique. — *Siemens et Halske*. 108
Ascenseur. — *Creiger* 246
Ascenseur. — *Lutz* 247
Ascenseur. — *Parkins*. 247
Indicateur électrique pour machines à vapeur. — *Lane* 250
Jacquard électrique. — *Siemens et Halske*. . . 251
Perceuse. — *Gibbs*. 17
Perceuse électrique mobile. — *Kodolitsch*. . . 558
Pont roulant électrique. — *Shaw*. 245
Régulateur électrique pour machines à vapeur. — *Goolden Ravenshaw et Trotter* 107

Digitized by Google

Pages.

Régulateur électrique de la vitesse des turbines. — *E. Egger* 459
Retoucheur électrique. — *Savage*. 250
Sémaphore électro-dynamique. — *Siemens et Halske*. 107
Télégouvernail. — *Dunlap Williamson*. 101
Télémoteur hydro-électrique. — *A. B. Brown*. 104
Télétypeuse électrique. — *Cox* 253
Sur la transmission électrique de la force dans les ateliers. — *E. J. Brunswick*. 440, 492, 587
L'emploi des petits moteurs. — *A. Rechniewski*. 191
Sirène électrique. — *Pellat*. 140
Labourage à l'électricité, à Enguibaut (Tarn). . 94
L'électricité appliquée à la manœuvre des portes d'écluses 190
L'électricité sur la ligne de Sceaux. 191
Installations électriques de la ligne de Sceaux. — *Bochet* 276
Pont-levis électrique. 191
Le moteur électrique au bureau de poste. . . 191

Biographie. Bibliographie. Nécrologie.

Dictionnaire d'électricité. — J. Lefèvre. — *J. Blondin*. 47
Recherches sur la théorie de l'électricité de Maxwell. — Foppe. — *Lamotte* 188
Traité élémentaire d'Électricité. — Branly. — *G. Pellissier* 237
Abrégé de la théorie des fonctions elliptiques. — Charles Henry. — *Grévy* 285
L'électro-aimant. — S.-P. Thompson. — *G. Pellissier* 382
Moteurs à champ magnétique tournant. — Angelo Banti. — *F. Guilbert* 430
Électricité appliquée à la marine. — P. Minel. *J. Blondin*. 473
Les fonctions elliptiques et leurs applications. - A. Greenhill. — *Grévy*. 605

Canalisation de l'électricité.

Distribution monocyclique de Steinmetz. — *E. Boistel*. 152, 259, 546
Appareil portatif pour la mesure des résistances d'isolement. — *Ducretet et Lejeune* 314
Canalisations concentriques. — *Grosselin* . . . 462

Pages.

Les coefficients d'induction des conducteurs multiples. — *Ch. Eug. Guye* 308
Induction dans les câbles armés. — *Ch. Eug. Guye* 308
Mode de montage particulier d'une transmission de force motrice. — *E. Hœgerstaedt*. . 460
Courants alternatifs. — *H. Ward Léonard* . . 81
Perturbations téléphoniques dues aux distributions à courants alternatifs. — *E. W. Mix*. 175
Câbles. — *Siemens et Diesclhorst* 419
Mise à la terre du fil de compensation dans le système à trois fils. — *Slaby et G. Kapp*. . . 591
Les explosions dans les canalisations électriques. 189
Les fils électriques et la foudre 384
Règlement relatif aux installations électriques en Allemagne 595

Conductibilité. Transmission de l'électricité.

Influence des ondes électriques sur la résistance des conducteurs. — *Aschkinass* 283
Influence des ondes électriques sur la résistance des conducteurs. — *Branly* 360
Résistance électrique au contact de deux métaux. — *Ed. Branly* 230
Déperdition électrique par l'illumination de corps médiocrement conducteurs. — *Edouard Branly*. 178
Sur la mesure de la conductibilité du bismuth placé dans un champ magnétique. — *Albert Griffiths*. 180
Sur la résistance électrique des liquides sucrés. *Gin et Leleux*. 278, 461
Détermination de la conductibilité des corps mauvais conducteurs. — *J.-J. Houston* . . . 420
Détermination de la conductibilité électrique de diverses solutions salines. — *Albert C. Mac Grégory* 136
La vitesse des ondes électriques. — *John Trowbridge et William Duane* 424
Méthode graphique pour la détermination de la résistance réduite de circuits en dérivation. — *W. E. Wines* 565

Cours. Conférences. Sociétés savantes.

Société Internationale des Electriciens. . 41, 42, 276, 461

Digitized by Google

Pages.
Société Française de Physique. . . 43, 277, 566
Exposition annuelle de la Société Française de Physique. — *C. Raveau*. 312
Chambre syndicale des industries électriques. 143, 239, 477, 607

Diélectriques. Décharge disruptive.

Détermination du gradient du potentiel dans la partie positive de la décharge lumineuse. — *Herz*. 332
Nouvel appareil pour mesurer le pouvoir inducteur spécifique des solides et des liquides. — *H. Pellat* 176
A propos de la théorie de M. Larmor. — *H. Poincarré* 5, 289
Sur la tension de la vapeur saturée dans un champ électrique. — *A. Sokolow* 43
Sur la conductibilité calorifique et la température des gaz lumineux dans un tube de Geisler. — *Warburg*. 381
Solution générale des équations de Maxwell pour un milieu absorbant homogène et isotrope. — *Birkeland* 373
Recherches sur la dispersion électrique. — *Drude* 281
Curieux phénomènes électriques dans le vide. 519

Divers. Documents.

La consommation de platine. 144
La médaille Faraday. 189
Accident dû aux courants de haute tension. . 285
L'électricité aux courses. 287
Législation américaine en matière de brevets. 287
La production du cuivre aux Etats-Unis. . . . 609

Éclairage électrique. Photométrie.

La détermination de l'intensité moyenne sphérique des sources de lumière. — *A. Blondel*. 57, 406, 538, 583
Sur les produits de combustion de l'arc électrique. — *N. Gréhant* 177
Économiseur pour lampe à arc. — *Hardtmuth*. 220
Sur l'emploi de l'éclairage électrique dans les chemins de fer. — *W. Langdon*. 86
Notes sur l'industrie électrique en France et en Angleterre. — *H. Ward Léonard*. . . . 80
Pages.
Régulateur à arc pour projections. — *Molleni*. 314
Éclairage par incandescence en série. — *Parfitt*. 597
Éclairage électrique du canal de Kiel entre la Baltique et la mer du Nord. — *J. Reyval*. 529
L'industrie électrique à Londres. — *Guido Semenza*. 367
Température des filaments de lampes à incandescence. — *Weber*. 420
Courbes de durée et de rendement de lampes à incandescence 596
L'éclairage électrique dans les environs de Genève. 96
L'électricité aux grottes de Han (Belgique). . 192
Statistique des stations d'électricité en Allemagne. 286
L'éclairage électrique à Alexandrie. 288
L'électricité à Milan. 336
Le projecteur électrique dans le service météorologique. 432
Droits de douane en Suède pour les lampes à incandescence. 431
L'électricité à Bruxelles. 431
Statistique des incendies à New-York. 432
Éclairage électrique des trains. 610

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE :

Alger. 474
Allassac. 574
Bagnères-de-Bigorre. 474
La Bourboule. 575
Bourg. 94
Châteauroux. 142
Château-Thierry. 575
Compiègne. 575
Coutras. 94
Darnétal. 475
Dieppe. 94, 238, 335
Hasparren. 575
Lannion. 475
Laval. 95
Le Neubourg. 239
Lille. 335, 575
Limoge. 95, 142
Luchon. 575
Lyon. 335, 476
Montauban 576
Moulins 476
Nantes. 238

Digitized by Google

Pages.

Neuville 476
Nevers. 143
Paris 237, 574
Perpignan 476
Prades. 476
Réalmont (Tarn). 96
Riez 336
Roubaix 576
Rouen 336, 576
Saint-Amand. 335
Saint-Rémy 335
Saintes 96, 143
Semur 96
Thoissey. 576
Versailles 143

Éclairage au gaz.

Les dangers de l'acétylène. 432

Électro-biologie.

Action thérapeutique des courants de haute fréquence. — *Apostoli et Berlioz*. 240
Modifications de la chaleur rayonnée par la peau sous l'influence de courants continus.— *Lecercle* 604
Appareil d'Arsonval pour l'étude des actions physiologiques des courants de haute fréquence 315

Electrolyse. Electro-chimie.

Galvanisation électrique. — *Coles et Walker*. . 513
Étude spectrale des charbons du jour électrique. *H. Deslandres*. 599
Sur la résistance électrique des liquides sucrés. — *Gin et Leleux*. 278, 461
Electrolyseur. — *Hargreaves et Bird* 512
Electrolyseur domestique. — *Hermite, Paterson et Cooper*. 418
Sur les applications possibles de l'énergie électrique à la production de composés organiques. — *A. Hess*. 69
La recherche des poisons minéraux à l'aide de l'électricité. — *Kohn* 47
L'analyse chimique basée sur des mesures électriques. — *Laurie*. 431

Pages.

Formation de la cuprite dans l'électrolyse du sulfate de cuivre. — *Majorana*. 466
Les applications métallurgiques du four électrique. — *H. Moissan*. 145
Préparation et propriétés du molybdène pur fondu. — *H. Moissan*. 600
L'acier au bore. — *Moissan et Charpy*. 144
Sur l'électrolyse des jus sucrés. — *Polier*. . . 462
Singulier phénomène électrolytique. — *C. J. Reed* 268, 371
Sur la théorie électro-chimique de Helmholtz et sur quelques conclusions qui s'en déduisent. — *F. Richarz*. 465
L'aluminium et l'hygiène. — *Riche*. 287
A propos du carbure de calcium. — *A. Rigaut*. 555
Phénomènes d'électrolyse par les courants de retour des tramways électriques en Amérique. — *Rowland* 74
La métallurgie du cuivre en Hongrie. 48
Le carbure de calcium dans l'industrie. 144

Electro-optique. Oscillations électriques.

Influence des ondes électriques sur la résistance des conducteurs. — *Aschkinass*. 283
Formes diverses de la résonnance multiple. — *Bjerknes* 329
Déperdition électrique par l'illumination de corps médiocrement conducteurs. — *Edouard Branly*. 178
Influence des ondes électriques sur la résistance des conducteurs. — *E. Branly* 360
Sur la théorie électro-magnétique de l'absorption de la lumière dans les cristaux. — *Bernard Brunhes* 373
Recherches sur dispersion électrique. — *Drude*. 281
Réfraction et dispersion des rayons de force électrique. — *A. Garbasso et Aschkinass* . . 186
Interrupteur pour l'obtention des courants de haute fréquence. — *H. Griffiths*. 279
Mesure des distances explosives, dans les expériences de Hertz, avec un micromètre dissymétrique. — *A. Perot*. 414
A propos de la théorie de M. Larmor. — *H. Poincarré* 5, 289
Sur les oscillations électriques à petite longueur d'onde et sur leur emploi dans la production de phénomènes analogues aux principaux phénomènes de l'optique. — *A. Righi*. . . . 351

Digitized by Google

Pages.

La vitesse des ondes électriques. — *John Trowbridge et William Duane*. 424

Génération et transformation de l'électricité.

Sur le meilleur métal pour noyaux d'électros. — *Alton D. Adams* 31
Mode d'action d'un moteur monophasé synchrone. — *F. Bedell et H.-J. Ryan*. 324
La résonnance dans les circuits de transformateurs. — *Fr. Bedell et A.-C. Crehore* 577
Grandes dynamos pour lampes à arc. — *Charles Black* 316
Variation de la résistance interne d'une pile en fonction de l'intensité du courant qui la traverse. — *Henry S. Carhart*. 184
Pile thermo-électrique. — *Cox* 610
Pulvérisateur de la Société électrique de *Crelnhausen* 75
Détermination de la forme des courants alternatifs dans le cas où l'alternateur n'est pas accessible. — *J.-A. Fleming* 33
Accumulateur. — *Griffin* 417
Accumulateurs. — *Hall*. 76
— — *Lehmann* 76
— — *Southey* 76
— — *Wuillot* 76
Les moteurs synchrones et la théorie de M. A. Blondel. — *F. Guilbert*. 436
Etude théorique et expérimentale d'une dynamo génératrice bipolaire à courants diphasés. — *S. Hanappe*. 385
Calcul relatif à une dynamo shunt du type Manchester. — *Salurnin Hanappe*. 481
Droite caractéristique des propriétés d'un accumulateur. — *Carl Hering*. 71
Prédétermination de la chute du potentiel dans les transformateurs. — *G. Kapp*. 121
Transformateurs-moteurs. — *H. Ward Léonard*. 81
Electrisation de l'air et des gaz par leur passage à travers l'eau ou d'autres liquides. — *Lord Kelvin, Magnus Maclean et Alexander Gall*. 521
Commutateur à segments mobiles. — *Painter, Morrisson* 594
Calcul et construction des machines dynamos à courants continus. — *R. V. Picou*. 97, 202, 255
Les alternateurs. — *R. V. Picou* 506

Pages.

Propriétés thermo-électriques du platinoïde et du manganèse. — *B.-O. Pierce* 236
Sur une classe de piles secondaires. — *Lucien Poincarré* 241
Effort exercé sur les conducteurs noyés dans le fer d'un induit. — *W.-B. Sayers*. 220
Expériences avec une pile au charbon. — *G. Schmitz* 73
Capacité des condensateurs électrolytiques. — *Samuel Sheldon, H.-W. Leitch et A.-N. Schaw* 568
Pile. — *Shoenmehl et Platt* 419
La pile Clark en circuit fermé. — *S. Skinner* . 88
Circonférences relatives de diverses formes de sections droites d'égale surface pour inducteurs de dynamos. — *Wiener*. 225
Nouvelles plaques d'accumulateur. 384
Fabrique d'accumulateurs à Meaux. 576
Sur l'accouplement direct et l'entraînement par courroies 221

Induction.

Instruments pour la mesure des coefficients d'induction. — *Ayrton et Perry*. 168
Sur la forme d'équilibre d'un conducteur filiforme flexible dans un champ magnétique. — *Osc. Colard*. 62, 112, 163
Sur la mesure de la conductibilité du bismuth placé dans un champ magnétique. — *Albert Griffiths*. 180
Note sur l'enroulement différentiel employé pour diminuer l'intensité de l'étincelle de rupture. — *A. Griffiths*. 233
Les coefficients d'induction des conducteurs multiples. — *Ch. Eug. Guye*. 20
Induction dans les câbles armés. — *Ch. Eug. Guye*. 308
Sur les courants de Foucault. — *P. Janet*. . . 49
Sur les actions mécaniques d'origine électro-magnétique. — *Max Weber*. 45

Magnétisme.

Variation séculaire du magnétisme terrestre. — *L.-A. Bauer*. 420, 571
Sur le potentiel magnétique. — *Frederick Bedell*. 133
Prétendue fatigue magnétique. — *A. Campbell et R.-P. Lovel*. 560

Digitized by Google

Pages.

Propriétés magnétiques des corps à diverses températures. — *P. Curie*. 424
Hystérésimètre. — *Marcel Deprez*. 314
Un nouveau modèle de magnétisme moléculaire. — *Ewing*. 270
Instrument de mesure de l'hystérésis dans la tôle de fer. — *Ewing*. 427
Sur l'altération des propriétés magnétiques du fer. — *Ewing*. 559
Nouvelle méthode pour la détermination des propriétés magnétiques du fer. — *W.-S. Franklin*. 571
Sur la force électro-magnétique ou force portante des électro-aimants. — *F. Taylor Jones*. 89
Electro-aimant monstre. — *King*. 192
Carte magnétique de la France. — *Mascart et Moureaux*. 47
L'invention de l'électro-aimant. — *G. Pellissier*. 472
Les déviations du compas. — *A.-W. Reinold*. 467
Miroirs de magnétisme. — *Sylvanus P. Thompson et Miles Walker*. 524
Variation séculaire et éphémérides du magnétisme terrestre. — *Le général Alexis de Tillo*. 177
Sur les phénomènes de Hall et la mesure des champs magnétiques. — *Edm. van Aubel*. . 398

Météorologie.

Variation séculaire du magnétisme terrestre. — *L.-A. Bauer*. 420, 571
Essais de détermination du potentiel de l'air au sommet de la Tour Eiffel. — *Chauveau*. . . 277
Appareils pour la vérification des paratonnerres. — *Ducretet et Lejeune*. 131
Carte magnétique de la France. — *Mascart et Moureaux*. 47
Variation séculaire et éphémérides du magnétisme terrestre. — *Le général Alexis de Tillo*. 177
Les accidents causés par la foudre. 48
Les fils électriques et la foudre. 384
Le projecteur électrique dans le service météorologique. 432

Moteurs thermiques et hydrauliques.

Régulateur électrique de la vitesse des turbines. — *E. Egger*. 459

Pages.

Régulateur électrique pour machines à vapeur. *Goolden, Ravenshaw et Trotter* 107
Indicateur électrique pour machines à vapeur. — *Lane*. 250
Machines à vapeur. — *H. Ward Léonard*. . . 81
Turbines Parsons. — *H. Ward Léonard*. . . 81
Turbine de Laval. — *H. Ward Léonard*. . . 82
Sur le choix des chaudières à vapeur pour les usines électriques. — *L'Hoest*. 78
Volant de sûreté. — *Shorps*. 286
Consommation de combustible des stations centrales. 48
Sur l'accouplement direct et l'entraînement par courroies 221

Phénomènes électro-capillaires.

Nouvelle expérience sur les couches électriques doubles. — *Bernard Brunhes* 193

Soudure électrique.
Chauffage et cuisine à l'électricité.

Chauffage électrique des théâtres. — *Crompton*. 27
Application de l'électricité à la cuisine et au chauffage. — *R.-E. Crompton*. 514, 562
Étude spectrale des charbons du four électrique. — *H. Deslandres* 599
Application du chauffage électrique. — *Edwards*. 528
Emploi de l'électricité pour la carburation superficielle des plaques de blindage et pour l'affinage des métaux. — *Jules Garnier*. . . 123
Le système hydro-électrothermique *Hoho et Lagrange* pour les travaux métallurgiques. — *Gooch*. 165, 360
Chauffage électrique. — *H. Ward Léonard*. . 83
Les applications métallurgiques du four électrique. — *H. Moissan*. 145
Préparation et propriétés du molybdène pur fondu. — *H. Moissan* 600
Procédé de soudure et de fusion électrique des métaux. — *Nicolaï Slavianoff*. 384
Soudure électrique des métaux, procédé H. Zerener. — *Tabourg*. 590

Digitized by Google

Pages.

Le recuit électrique des cuirasses de navires. — *Elihu Thomson*. 124
La cuisine électrique. 285
Soudure électrique des rails en Amérique. . . 170

Stations centrales.

Pertes dans les stations centrales et les transmissions électriques. — *A.-B. Herrick* . . . 455
Stations centrales anglaises. — *H. Ward Léonard*. 82
Stations centrales françaises. — *H. Ward Léonard*. 82
Importance du facteur de charge. — *H. Ward Léonard* 83
Sur le choix des chaudières à vapeur pour les usines électriques. — *L'Hoest*. 78
Sur l'emploi des différents procédés d'accumulation d'énergie dans les stations centrales. — *Perry* 27
Tarif variable pour la distribution de l'énergie électrique. — *Arthur Wright* 221
Consommation de combustible des stations centrales. 48
Le tableau de distribution de la station centrale de Baltimore 518

Télégraphie. Téléphonie. Chronographie. Horloges électriques. Signaux.

Communication téléphonique entre les navires et la côte. — *Blake*. 96
Commutateur téléphonique. — *Hayes et Spencer*. 321
Explorateur électrique sous-marin. — *MacEvoy*. 323
Perturbations téléphoniques dues aux distributions à courants alternatifs. — *E.-W. Mix* . 175
Transmission téléphonique. — *Muirhead et Green* 511
Télégraphe sous-marin. — *Muirhead* 516
Dépenses d'établissement et d'exploitation des réseaux téléphoniques. — *F. Ross*. 287
Nouveau microphone, système de Lalande. — *J. Reyval* 358
Notes sur la téléphonie aux Etats-Unis. — *G. de la Touanne* 125, 223, 271

Pages.

Sémaphore électro-dynamique. — *Siemens et Halske*. 107
Les transformations du service téléphonique à Bruxelles. 191
L'électricité aux avant-postes 191
Sondes électriques. 288
Bureau téléphonique de grande capacité, à Bâle 336
Commutateurs pour bureau central de la Société des Téléphones d'Anvers. 366
Conditions limites de la transmission télégraphique 383
Ligne téléphonique Bruxelles-La Haye 431
Communication téléphonique entre les navires de guerre et la côte. 480
La téléphonie en Hollande. 528
Le téléphone au Havre 575
Utilisation des vieux isolateurs télégraphiques. 576

Thermo-Electricité. Mesure des températures.

Pile thermo-électrique. — *Cox* 610
Thermomètre avertisseur. — *Ducretet et Lejeune*. 314
Mesure électrique des hautes températures. — *J. Mac Crac* 573
Sur un thermomètre à zéro invariable. — *L. Marchis*. 463
Sur la mesure des températures par les couples thermo-électriques. — *Edm. van Aubel et R. Paillot*.. 375

Traction électrique.

Application du système à trois fils à la traction électrique. — *Louis Bell*. 29
Traction électrique des bateaux sur les canaux. — *De Bovet* 42
Traction électrique à double trôlet. — *Ph. Dawson* 458
Traction électrique sur l'embranchement minier de Montmartre à la Béraudière, près Saint-Etienne. — *A. Hillairet* 41
Le tramway électrique à rail sectionné, système Claret et Wuilleumier. — *Ch. Jacquin* 211, 448, 499
Sur les tramways électriques. — *G. Kapp* . . . 371

Digitized by Google

Pages.

Chemin de fer électrique de Liverpool. — *H. Ward Léonard*. 82
Locomotive Heilmann. — *H. Ward Léonard*. 84
L'économie de la traction électrique. — *Parsons* 287
Les tramways électriques de Boston. — *G. Pellissier*. 295
Tramways électriques à canalisations souterraines. — *M. Rasch*. 228
Phénomènes d'électrolyse par les courants de retour des tramways électriques en Amérique. — *Rowland*. 74
Tramways à accumulateurs de Paris à Saint-Denis. — *Sarcia*. 43
Les locomotives électriques en Amérique. — *Varney*. 84
Soudure électrique des rails en Amérique. . . 170
La traction électrique en Allemagne. 191
La traction électrique à Bruxelles. . . . 192, 609
Chemins de fer électriques 192
Tramways à contrepoids pour l'ascension des rampes. 266
Chemin de fer électrique de montagne, au Sonnenberg. 336
La traction électrique à Bâle 609
Le tramway électrique de New-York à Philadelphie 609
Tramway électrique au Japon 609
Industrie américaine 610

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE :

Belleville. 574
Besançon. 335
Dijon. 238
Gérardmer 95
Nantes. 238
Paris. 334
Picauville 476
Rouen 96, 336
Saint-Quentin 476
Saint-Rémy 335
Toulon. 476
Le premier chemin de fer électrique en France. 141

Transmission de l'énergie.
Utilisation des forces naturelles.

Sur la transmission électrique de la force dans les ateliers. — *E. J. Brunswick*. . . . 440, 492
Utilisation des chutes du Niagara. — Etat des travaux. — *E. Boistel*. 206
Distribution d'énergie électrique par courants polyphasés aux ateliers Weyher et Richemond. — *A. Hess*. 337
Utilisation des cataractes du Nil. — *Prompt*. . 431
Utilisation des forces motrices du Rhône, à Lyon. 76
Transport d'énergie au Mexique. 431
Pertes dans les stations centrales et les transmissions électriques. — *A. B. Herrick*. . . 455
La première transmission par courants triphasés au Canada. 457
Transport d'énergie à Beaujeu (Rhône). . . . 475
Usine électrique de la Goule 528
Transports d'énergie sur les côtes du Pacifique . 610

Digitized by Google

TABLE PAR NOMS D'AUTEURS

A

Pages.

ABRAHAM et LEMOINE. — Electromètres absolus à anneaux de garde. 43
— Sur la mesure des potentiels très élevés. . 433
ADAMS (Alton D.). — Sur le meilleur métal pour les noyaux d'électros. 31
APOSTOLI et BERLIOZ. — Action thérapeutique des courants de haute fréquence. 240
ARNOUX. — Ampèremètres et voltmètres industriels 42, 566
ARSONVAL (D'). — Appareil pour l'étude des actions physiologiques des courants de haute fréquence 315
ASCHKINASS. — Influence des ondes électriques sur la résistance des conducteurs 283
— Voir *Garbasso (A.) et Aschkinass (A.)*.
AYRTON et PERRY. — Instruments de mesure des coefficients d'induction 168

B

BAUER (L. A.). — Variation séculaire du magnétisme terrestre. 421, 571
BEDELL (Frederick). — Sur le potentiel magnétique 133
BEDELL (F.) et CREHORE (A.-C.). — La résonance dans les circuits de transformateurs. . 577
BEDELL (F.) et RYAN (H. J.). — Mode d'action d'un moteur monophasé synchrone. 324
BELL (Louis). — Application du système à trois fils à la traction électrique. 29
BERLIOZ. — Voir *Apostoli et Berlioz*.
BIRD. — Voir *Hargreave et Bird*.
BIRKELAND. — Solution générale des équations de Maxwell pour un milieu absorbant homogène et isotrope. 373

Pages.

BJERKNES. — Formes diverses de la résonance multiple 329
BLACK (Ch.). — Grandes dynamos pour lampes à arc. 316
BLAKE. — Communication téléphonique entre les navires et la côte. 96
BLONDEL (A.). — La détermination de l'intensité moyenne sphérique des sources de lumière 57, 406, 538, 583
— Voir *Guilbert (F.)*.
BLONDIN (J.). — Dictionnaire d'électricité, par *J. Lefèvre (Bibl.)*. 47
— Electricité appliquée à la marine, par *P. Minel (Bibliog.)*. 473
BOCHET. — Installations électriques de la ligne de Sceaux. 276
BOISTEL (E.). — Distribution monocyclique de Steinmetz 153, 259, 546
— Utilisation des chutes du Niagara. — Etat des travaux 206
BOVET (de). — Traction électrique des bateaux sur les canaux. 42
BRANLY (Edouard). — Déperdition électrique par l'illumination de corps médiocrement conducteurs 178
— Résistance électrique au contact de deux métaux. 230
— Influence des ondes électriques sur la résistance des conducteurs. 360
BROWN (A. B.). — Télémoteurs hydro-électriques. 104
BRUNHES (Bernard). — Nouvelle expérience sur les couches électriques doubles. 193
— Sur la théorie électro-magnétique de l'absorption de la lumière dans les cristaux . . . 373

Digitized by Google

Pages.

BRUNSWICK (E. J.). — Sur la transmission électrique de la force dans les ateliers, 440, 492, 587

C

CAMPBELL (A.) et LOVEL (R. P.). — Prétendue fatigue magnétique. 560
CARHART (Henry S.). — Variation de la résistance interne d'une pile en fonction de l'intensité du courant qui la traverse. 184
CHARPY. — Voir *Moissan et Charpy*.
CHAUVEAU. — Essais de détermination du potentiel de l'air au sommet de la tour Eiffel. 277
CLARET et WUILLEUMIER. — Tramway électrique à rail sectionné 211, 448, 499
COLARD (Osc.). — Sur la forme d'équilibre d'un conducteur filiforme flexible dans un champ magnétique 62, 112, 163
COLES et WALKER. — Galvanisation électrique. 513
COOPER. — Voir *Hermite, Paterson et Cooper*.
COX. — Télétypeuse électrique 253
— Pile thermo-électrique 610
CREHORE (A.-C.) — Voir *Bedell (F.) et Crehore (A.-C.)*.
CREIGER. — Ascenseur. 246
CRELNHAUSEN. — Pulvérisateur de la Société électrique de. 75
CROMPTON. — Chauffage électrique des théâtres 27
— Application de l'électricité à la cuisine et au chauffage. 514, 562
CURIE (P.). — Propriétés magnétiques des corps à diverses températures 424

D

DAWSON (Ph.). — Traction électrique à double trôlet 458
DEPREZ (Marcel). — Hystérésimètre 314
DIESELHORST. — Voir *Siemens et Dieselhorst*.
DESLANDRES (H.). — Étude spectrale des charbons du four électrique 599
DORMAN et SMITH. — Commutateurs 170
DRUDE. — Recherches sur la dispersion électrique 281
DUANE (William). — Voir *Trowbridge (John) et Duane (William)*.
DUCRETET et LEJEUNE. — Chercheur de pôles. 124

Pages.

— Appareils pour la vérification des paratonnerres 131
— Appareil portatif pour la mesure des résistances d'isolement 314
— Thermomètre avertisseur. 314

E. F

EDWARDS. — Application du chauffage électrique 528
EGGER (E.). — Régulateur électrique de la vitesse des turbines 459
EWING. — Un nouveau modèle de magnétisme moléculaire 270
— Instrument de mesure de l'hystérésis dans la tôle de fer. 427
— Sur l'altération des propriétés magnétiques du fer 559
FLEMING (J.-A.). — Détermination de la forme des courants alternatifs dans le cas où l'alternateur n'est pas accessible. 33
— Représentation des courants périodiques en coordonnées polaires 520
FRANKLIN (N.-S.). — Nouvelle méthode pour la détermination des propriétés magnétiques du fer. 571

G

GALT (Alexander). — Voir *Kelvin (lord), Maclean et Galt*.
GARBASSO (A) et ASCHKINASS (E.). — Réfraction et dispersion des rayons de force élec-trique. 187
GARNIER (Jules). — Emploi de l'électricité pour la carburation superficielle des plaques de blindage et pour l'affinage des métaux. . 123
GIBBS. — Perceuse 17
GIN et LELEUX. — Sur la résistance électrique des liquides sucrés 279, 461
GIRARD (CH.). — Voir *Street*.
GOOCH. — Le système hydro-électro-thermique *Hoho et Lagrange*, pour les travaux métallurgiques 165, 360
GOOLDEN, RAVENSHAW et TROTTER. — Régulateur électrique pour machines à vapeur . . 107
GRASSOT. — Compteur d'électricité pour courants continus. 123
GREEN. — Voir *Muirhead et Green*.

Digitized by Google

Pages.

GRÉHANT (N.). — Sur les produits de combustion de l'arc électrique. 177
GRÉVY. — Abrégé de la théorie des fonctions elliptiques, par *Charles Henry* (*Bibliog.*). . . 284
— Les fonctions elliptiques et leurs applications par *A. G. Greenhill* (*Bibliogr.*) 605
GRIFFIN. — Accumulateur. 417
GRIFFITHS (Albert). — Quelques expériences avec des courants alternatifs. 139
— Sur la mesure de la conductibilité du bismuth placé dans un champ magnétique 180
— Note sur l'enroulement différentiel employé pour diminuer l'intensité de l'étincelle de rupture. 233
— Interrupteur pour l'obtention des courants de hautes fréquences 279
GROSSELIN. — Canalisations concentriques . . 462
GUILBERT (F.). — Moteurs à champ magnétique tournant, par *Angelo Banti* (*Bibliog.*). . . 430
— Les moteurs synchrones et la théorie de M. A. Blondel 436
GUYE (Ch. Eug.). — Induction dans les câbles armés 308
— Les coefficients d'induction des conducteurs multiples. 20

H

HANAPPE (S.). — Étude théorique et expérimentale d'une dynamo génératrice bipolaire à courants diphasés 385
— Calcul relatif à une dynamo shunt du type Manchester 481
HARGREAVES et BIRD. — Electrolyseur 512
HARDTMUTH. — Economisateur pour lampes à arc. 220
HARRISON. — Voltmètre. 365
HAYES et SPENCER. — Commutateur téléphonique 321
HERING (Carl.). — Droite caractéristique des propriétés d'un accumulateur 71
HERMITE, PATERSON et COOPER. — Electrolyseur domestique. 418
HERRICK (A.-B.). — Pertes dans les stations centrales et les transmissions électriques . . 455
HERZ. — Détermination du gradient du potentiel dans la partie positive de la décharge lumineuse 332

Pages.

HESS (A.). — Sur les applications possibles de l'énergie électrique à la production de composés organiques 69
— Distribution d'énergie électrique par courants polyphasés aux ateliers Weyher et Richemond 337
HILLAIRET (A.). — Traction électrique sur l'embranchement minier de Montmartre à la Béraudière, près Saint-Etienne 41
HIRD. — Voir *Siemens et Hird.*
HŒGERSTAEDT (E.). — Mode de montage particulier d'une transmission de force motrice. 460
HOHO et LAGRANGE. — Système hydro-électro-thermique pour les travaux métallurgiques 165, 360
HOUSTON (J.-J.). — Détermination de la conductibilité des corps mauvais conducteurs. . 420

J K

JACQUIN (Ch.). — Le tramway électrique à rail sectionné système Claret et Wuilleumier. 211, 448, 499
JANET (P.). — Sur les courants de Foucault. 49
JONES (F. Taylor). — Sur la force électromagnétique ou force portante des électro-aimants. 89
KAPP (G.). — Sur les tramways électriques. . 371
— Prédétermination de la chute de potentiel dans les transformateurs. 421
— Voir *Staby et Kapp* (*G.*)
KELVIN (lord), MACLEAN (Magnus) et GALT (Alexander). — Electrisation de l'air et des gaz par leur passage à travers l'eau ou d'autres liquides. 521
KING. — Electro-aimant monstre. 192
KODOLITSCH. — Perceuse électrique mobile. 553
KOHN. — La recherche des poisons minéraux à l'aide de l'électricité. 47

L

LAGRANGE. — Voir *Hoho et Lagrange.*
LALANDE (de). — Nouveau microphone. . . . 358
LAMOTTE. — Recherches sur la théorie de l'électricité de Maxwell par *Foppl.* (*Bibliographie*) 188
LANE. — Indicateur électrique pour machines à vapeur. 250

Digitized by Google

Pages.

LANGDON (W.). — Sur l'emploi de l'éclairage électrique dans les chemins de fer. 86
LARMOR. — Voir *Poincarré (H.)*.
LAURIE. — L'analyse chimique basée sur des mesures électriques 431
LECERCLE. — Modifications de la chaleur rayonnée par la peau, sous l'influence de rayons continus 604
LEITCH (H. W.). — Voir *Sheldon (Samuel), Leitch (H. W.) et Shaw (A. N.)*.
LEJEUNE. — Voir *Ducretet et Lejeune*.
LELEUX. — Voir *Gin et Leleux*.
LÉONARD (H. Ward.). — Notes sur l'industrie électrique en France et en Angleterre. . . . 80
LEMOINE. — Voir *Abraham et Lemoine*.
L'HOEST. — Sur le choix des chaudières à vapeur pour les usines électriques. 78
LOREL (R.-P.). — Voir *Campbell (A.) et Lorel (R.-P.)*
LUTZ. — Ascenseur. 247

M N

MAC CRAC. — Mesure électrique des hautes températures 573
MAC EVOY. — Explorateur électrique sous-marin 323
MAC GRÉGORY (Albert C.). — Détermination de la conductibilité électrique de diverses solutions salines 137
MACLEAN (Magnus). — Voir *Kelvin, Maclean et Gall*.
MAJORANA. — Formation de la cuprite dans l'électrolyse du sulfate de cuivre. 466
MARCHIS (L.). — Sur un thermomètre à zéro invariable 463
MASCART et MOUREAUX. — Carte magnétique de la France. 47
MIX (E.-W.). — Perturbations téléphoniques dues aux distributions à courants alternatifs. 175
MOISSAN. — Les applications métallurgiques du four électrique. 145
— Préparation et propriétés du molybdène pur fondu 600
MOISSAN et CHARPY. — L'acier au bore. . . . 144
MOLTENI. — Régulateur à arc pour projections. 314
MORRISSON. — Voir *Painter, Morrisson*.

Pages.

MOUREAUX. — Voir *Mascart et Moureaux*.
MUIRHEAD et GREEN. — Transmission téléphonique 511
MUIRHEAD. — Télégraphe sous-marin. 516
NALDER. — Ampèremètre. 73

P

PAILLOT (R.). — Voir *Van Aubel (Edm.) et Paillot (R)*.
PAINTER-MORRISSON. — Commutateurs à segments mobiles 594
PARFITT. — Éclairage par incandescence en série 597
PARSONS. — L'économie de la traction électrique 286
PARKINS. — Ascenseur hydro-électrique . . . 247
PATERSON. — Voir *Hermite, Paterson et Cooper*.
PICOU (R). — Calcul et construction des machines dynamos à courants continus 97, 202, 255
PICOU (R.-V.). — Les alternateurs. 506
PIERCE (B.-O.). — Propriétés thermo-électriques du platinoïde et du maganin. 236
PIONCHON (J.). — Sur une méthode optique d'étude des courants alternatifs. 232
PELLAT. — Sirène électrique 140
PELLAT (H.). — Nouvel appareil pour mesurer le pouvoir inducteur spécifique des solides et des liquides 176
PELLISSIER (G.). — Traité élémentaire d'électricité, par *Ed. Branly (Bibliog.)* 237
— Les tramways électriques de Boston. . . . 295
— L'électro-aimant, par *S.-P. Thompson — (Bibliog.)* 382
— L'invention de l'électro-aimant. 473
PEROT (A.). — Mesure des distances explosives, dans les expériences de Hertz avec un micromètre dissymétrique 414
PERRY. — Sur l'emploi des différents procédés d'accumulation d'énergie dans les stations centrales. 27
— Voir *Ayrton et Perry*.
PLATT. — Voir *Shœnmehl et Platt*.
POINCARRÉ (H.) — A propos de la théorie de M. Larmor 5, 289
POINCARRÉ (Lucien). — Sur une classe de piles secondaires 241

Digitized by Google

Pages.

POTIER. — Sur l'électrolyse des jus sucrés. . . 462
PROMPT. — Utilisation des cataractes du Nil. 431

R

RASCH (M.). — Tramways électriques à canalisations souterraines 228
RAVEAU (B.). — Exposition annuelle de la Société française de Physique 313
RAVENSHAW. — Voir *Goolden Ravenshaw et Trotter.*
RECHNIEWSKI. — L'emploi des petits moteurs. 191
REED (C. J.). — Singulier phénomène électrolytique 268, 371
REINOLD (A. W.).—Les déviations du compas. 467
REYVAL (J.). — Nouveau microphone, système de Lalande 358
— Le compteur d'électricité Grassot pour courants continus 122
— Éclairage électrique du canal de Kiel entre la Baltique et la mer du Nord. 529
RICHARD (G.). — Applications mécaniques de l'électricité 13, 101, 245
RICHARZ (F.). — Sur la théorie électrochimique de Helmholtz et sur quelques conclusions qui s'en déduisent 464
RICHE. — L'aluminium et l'hygiène 287
RIGAUT (A.). — A propos du carbure de calcium. 555
RIGHI (A.). — Sur les oscillations électriques à petite longueur d'onde, et sur leur emploi dans la production de phénomènes analogues aux principaux phénomènes de l'optique . . 351
ROSS (F.). — Dépenses d'établissement et d'exploitation des réseaux téléphoniques. . . 287
ROWLAND. — Phénomènes d'électrolyse par les courants de retour des tramways électriques en Amérique. 74
— Electromètre à l'huile 191
RYAN (H. J.). — Voir *Bedell (F.) et Ryan (H. J.).*

S

SARCIA. — Tramways à accumulateurs de Paris à Saint-Denis 43
SAVAGE. — Indicateur électrique 250
SAYERS (W. B.). — Effort exercé sur les conducteurs noyés dans le fer d'un induit. . . . 226

Pages.

SCHMITZ (G.). — Expériences avec une pile au charbon. 73
SEMENZA (Guido). — L'industrie électrique à Londres 367
SHAW (A. N.). — Voir *Sheldon (Samuel), Leitch (H. W.) et Shaw (A. N.).*
— Pont roulant électrique. 245
SHELDON (Samuel), LEITCH (H. W.) et SHAW (A. N.). — Capacité des condensateurs électrolytiques. 568
SHOENMEHL et PLATT. — Pile 419
SHORPS. — Volant de sûreté. 286
SIEMENS et DIESCLHORST. — Câbles. 419
SIEMENS et HALSKE. — Sémaphore et électrodynamique. 107
— Aiguillage électrodynamique 108
— Jacquard électrique 251
SIEMENS et HIRD. — Plomb fusible 220
SKINNER (S.). — La pile Clark en circuit fermé 88
SLABY et KAPP (G.). — Mise à la terre d'un fil de compensation dans le système à trois fils. 591
SLAVIANOFF (Nicolaï). — Procédé de soudure et de fusion électrique des métaux 384
SMITH. — Voir *Dorman et Smith.* 170
SOKOLOW (A.). — Sur la tension de la vapeur saturée dans un champ électrique 43
SPENCER. — Voir *Hayes et Spencer.*
STEINMETZ. — Distribution monocyclique. 152, 259, 546
STREET. — Sur les fours électriques et leur application à la transformation sur carbone en graphite, procédé *Ch. Girard et Street.* . . . 277

T

TABOURY. — Soudure électrique des métaux, procédé H. Zerener. 590
THOMSON. — Electromètre 364
THOMSON (Elihu). — Le recuit électrique des cuirasses de navires 124
THOMPSON (Sylvanus) et WALKER (Miles). — Miroirs de magnétisme 524
THEERMANN. — Commutateur (1894) 169
TILLO (le général Alexis de). — Variation séculaire et éphéméride du magnétisme terrestre 177
TOUANNE (G. de la). — Notes sur la téléphonie aux États-Unis 125, 223, 271

Digitized by Google

Pages.

TROTTER. — Voir *Goolden, Ravesnhaw et Trotter.*

TROWBRIDGE (John) et DUANE (William). — La vitesse des ondes électriques 424

V W Z

VAN AUBEL (Edm.) et PAILLOT (R.). — Sur la mesure des températures par les couples thermo-électriques 375

— Sur le phénomène de Hall et la mesure des champs magnétiques. 398

VARNEY. — Les locomotives électriques en Amérique 84

WALKER (Miles). — Voir *Thompson (Sylvanus P.) et Walker (Miles).*

WALKER. — Voir *Coles et Walker.*

WARBURG. — Sur la conductibilité calorifique et la température des gaz lumineux dans un tube de Geissler. 381

WEBER (Max). — Sur les actions mécaniques d'origine électromagnétique. 45

— Température des filaments de lampes à incandescence. 420

WEISS (Pierre). — Galvanomètre de grande sensibilité 43, 424

WIENER. — Circonférences relatives de diverses formes de sections droites d'égale surface pour inducteurs de dynamos. 225

WILLIAMSON (Dunlap). — Télégouvernail. . . 101

WINES (W. E.). — Méthode graphique pour la détermination de la résistance réduite de circuits en dérivation 565

WRIGHT (Arthur). — Tarif variable pour la distribution de l'énergie électrique. 221

WUILLEUMIER. — Voir *Claret et Wuilleumier.*

ZERENER (H.). — Soudure électrique des métaux. 590

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie de la Cour d'appel, L. MARETHEUX, directeur, 1, rue Cassette.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

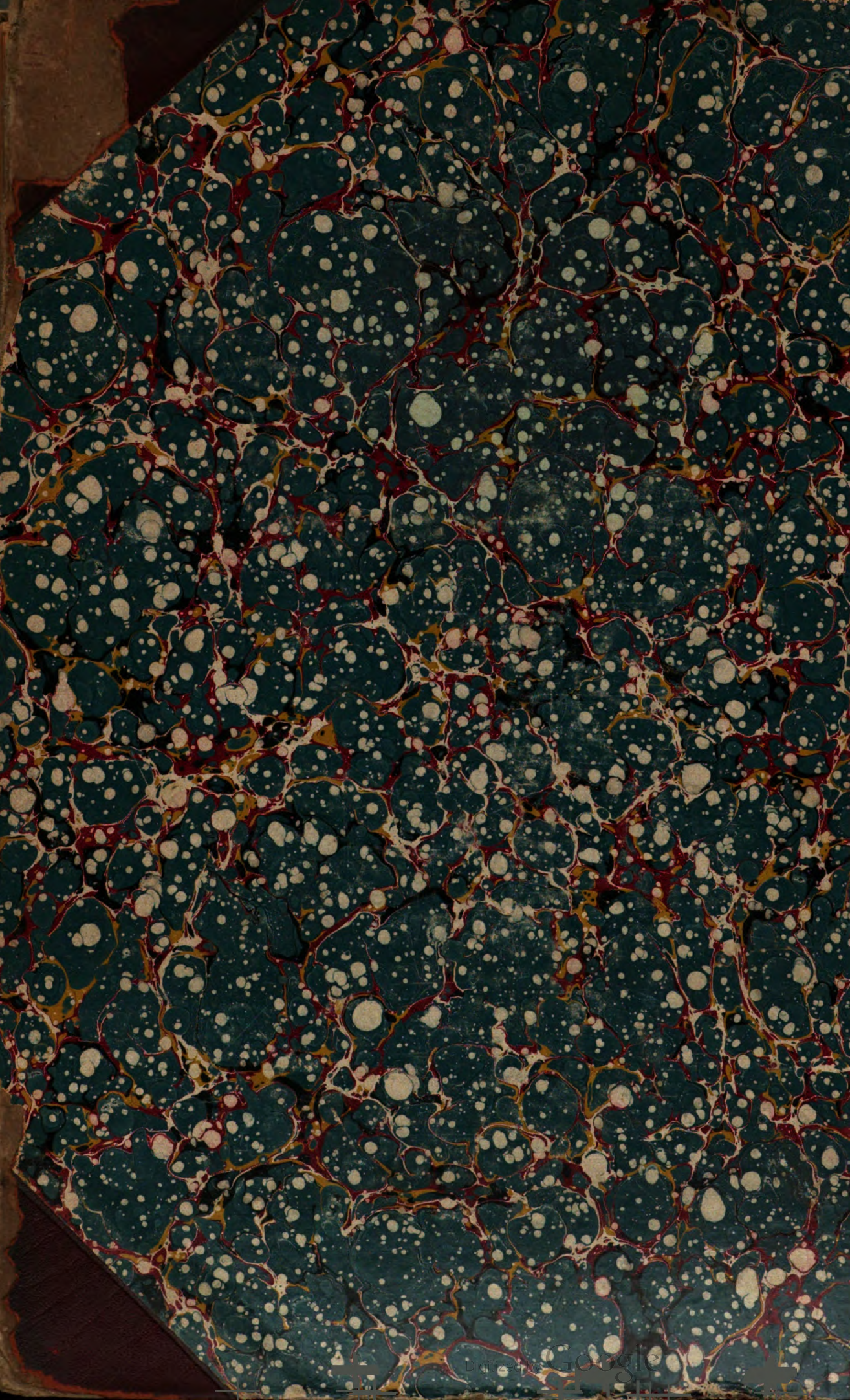
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

32101 049009242

Digitized by Google


Digitized by Google